

## LAS ZEOLITAS NATURALES DE ARGENTINA

---

## INTRODUCCIÓN

MARÍA FLORENCIA GARGIULO

Universidad Nacional del Sur – Instituto Geológico del Sur – CONICET  
Bahía Blanca. Argentina

SABRINA CROSTA

Universidad Nacional de Tierra del Fuego  
– Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales  
Ushuaia. Argentina

PABLO RODRIGO LEAL

Universidad de Buenos Aires  
– Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Geociencias Básicas,  
Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires – CONICET  
Buenos Aires. Argentina

MARIA ELENA VATTUONE

Universidad de Buenos Aires – Instituto de Geocronología – CONICET  
Buenos Aires. Argentina

En la República Argentina son numerosas las localidades donde se han encontrado y estudiado minerales del grupo de las zeolitas. Sin embargo, son pocos los lugares donde los estudios fueron lo suficientemente detallados como para determinar las especies de zeolitas en las diferentes formaciones geológicas, o para entender los procesos genéticos involucrados.

La metodología empleada para la identificación y caracterización de estos minerales comprende la preparación de secciones delgadas y pulidas, y la separación de agregados cristalinos para análisis por difracción de rayos X, entre valores de  $2\theta$  de  $4^\circ$  a  $70^\circ$ , con mediciones cada  $0,05^\circ$  o  $0,2^\circ$ , utilizando radiación Cu-K $\alpha$  y filtro de Ni en condiciones analíticas que pueden variar, por un lado, entre los 50kV y los 30mA, y los 35kV y los 15mA,

por otro, sin discrepancias en los resultados obtenidos en cada caso.

Asimismo, se mencionan microanálisis químicos semicuantitativos, generalmente realizados con el microscopio electrónico de barrido (SEM – Phillips 9100) a 20kV, con un espectrómetro de energía dispersiva de rayos X (EDS) incorporado. En algunos casos, se han llevado a cabo estudios termogravimétricos, térmico-diferenciales y de espectroscopía de radiación infrarroja, que han permitido corroborar las especies de zeolitas identificadas.

Desde el año 2014, el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) está llevando a cabo la prospección de zeolitas en diferentes provincias argentinas, a partir del procesamiento de imágenes Aster.

Los estudios encaminados a establecer las aplicaciones de las zeolitas naturales en la República Argentina han permitido conocer la capacidad de intercambio catiónico de algunas de las especies identificadas, principalmente de las procedentes de los yacimientos en explotación. Actualmente, se realizan trabajos de investigación conjunta entre diferentes empresas, organismos nacionales, provinciales y universidades, con el fin de fomentar la aplicación de la clinoptilolita y la mordenita en la agricultura, la remediación de suelos, en la alimentación animal y en el filtrado de efluentes contaminados.

Las manifestaciones de zeolitas de este país son mayoritariamente de origen diagenético o hidrotermal, asociadas a rocas ígneas o a campos geotermales activos. Los yacimientos que se encuentran en explotación son de tipología diagenética, y están vinculados a niveles sedimentarios tobáceos y tufíticos de cuencas terciarias ubicadas en las provincias de La Rioja y San Juan. Sin embargo, la mayor variedad de especies de zeolitas se ha reportado en diferentes localidades de los Andes Patagónicos Septentrionales, y cuyo origen es hidrotermal y/o está vinculado al metamorfismo de muy bajo grado.

DESDE EL AÑO 2014, EL SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO (SEGEMAR) ESTÁ LLEVANDO A CABO LA PROSPECCIÓN DE ZEOLITAS EN DIFERENTES PROVINCIAS ARGENTINAS.

---

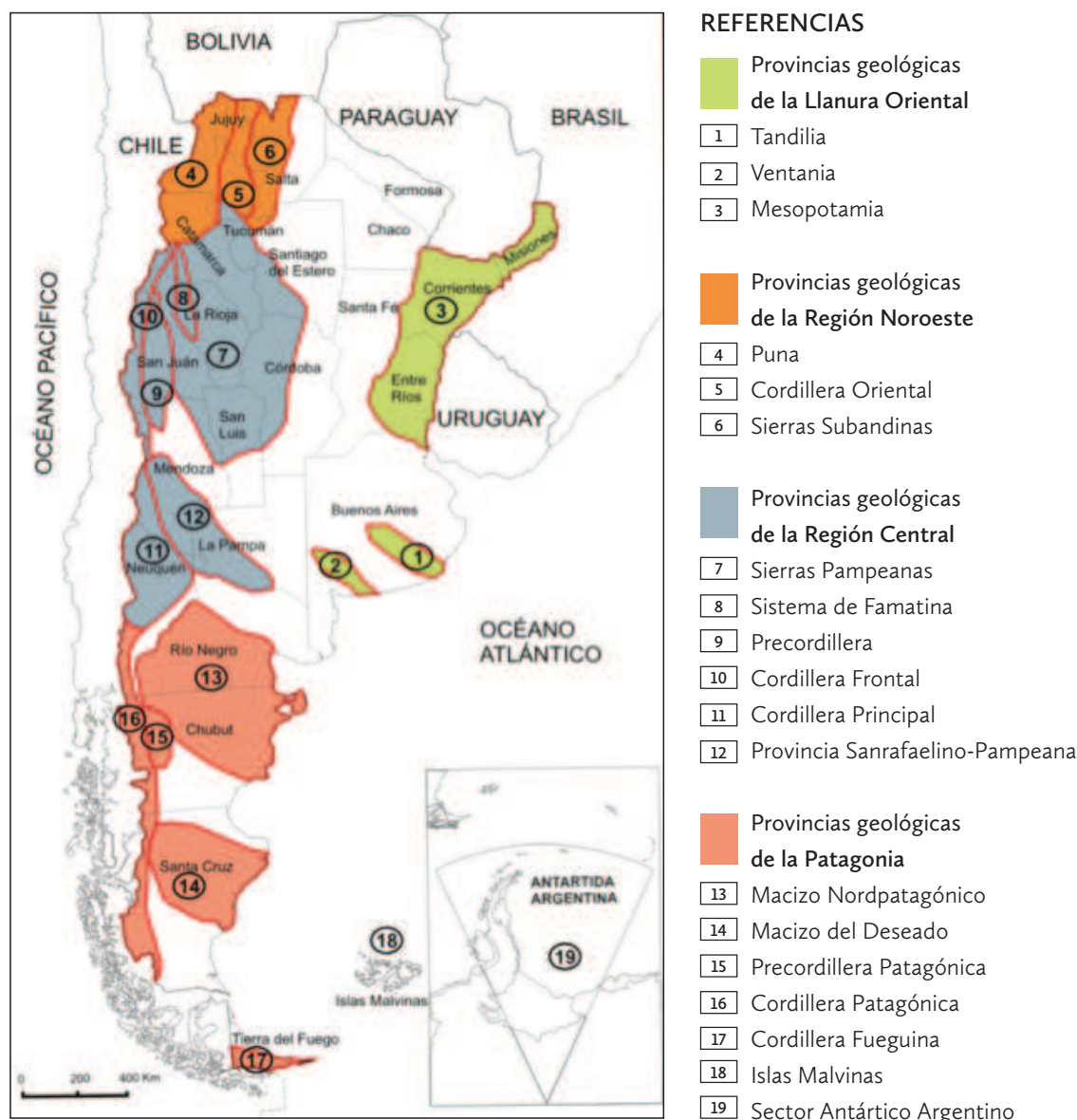
## MARCO GEOLÓGICO

El territorio argentino se divide en 19 provincias geológicas (figura 10), que representan las áreas de relieve positivo con afloramientos de diferentes edades. Además, existen varias cuencas sedimentarias (figura 11) con diferentes espesores y edades, siendo algunas de ellas actualmente productivas.

Por otra parte, el registro geológico ha estado marcado por eventos volcánicos anómalos respecto a los grandes volúmenes que representan, ya sea de magmas máficos, con diferenciados intermedios a ácidos subordinados, o de eventos que se iniciaron con un magmatismo de compo-

sición andesítica a dacítica, finalizando con un extenso *plateau riolítico* (Llambías, E. 2015). Estos eventos han formado las actuales provincias ígneas, de gran relevancia por su extensión areal dentro del territorio argentino (figura 12). Para una caracterización general de las diferentes unidades involucradas, véase Ramos, V. (1999a) y trabajos allí referidos.

**Figura 10.** Mapa de la República Argentina con división política y con la localización de las provincias geológicas (modificado de Varela, R. 2014).





**Figura 11.** Mapa de la República Argentina con división política y con la distribución de las cuencas sedimentarias (tomado de Fundación YPF, galería de mapas de los recursos energéticos de la Argentina, on-line agosto 2017: <http://energias-demipais.educ.ar/fuentes-de-energia-potencial/energia-de-combustibles-fosiles/>).

La República Argentina ocupa el extremo sur del continente sudamericano, y al igual que éste su historia geológica más antigua se vincula al ensamble de diversos terrenos, cuyas acreciones se produjeron a través de la interacción entre placas y microplacas (Ramos, V. 1999a, b, 2010, y referencias allí citadas). Esto permitió el desarrollo de varios ciclos orogénicos con magmatismo y metamorfismo asociados, además de procesos de depositación de secuencias sedimentarias en cuencas de diversos orígenes. Los principales ciclos orogénicos identificados en el territorio argentino, así como su distribución, se resumen y visualizan en la figura 13.

El ciclo orogénico Gondwánico, desarrollado durante el Paleozoico Superior hasta el Triásico Medio, estuvo vinculado a la existencia de un margen de subducción que dio lugar a la formación de un orógeno de tipo Andino en el oeste del país (Ramos, V. 1988; Mpodozis, C. y Ramos, V. 1989). En el lapso Pérmico Superior-Triásico Inferior, se produjo un importante evento extensional vinculado a episodios postcolisionales asociados al orógeno, que generó un extenso magmatismo ácido (Provincia ígnea Choiyoi, figura 12) (Llambías, E. *et al.* 1993) e importantes depocentros intracratónicos por riftogénesis en el centro y oeste del país (Charrier, R. 1979; Ramos, V. 1988; Ramos, V. y Kay, S. 1991); por ejemplo, la Cuenca Cuyana (figura 11).

Si bien todos estos sistemas de *rift* comenzaron en el Triásico, muchos de ellos tuvieron importantes reactivaciones extensionales ya sea en el Jurásico Inferior o Medio (Strelkov, E. y Álvarez, L. 1984; Uliana, M. *et al.* 1989; Álvarez, P. 1996).

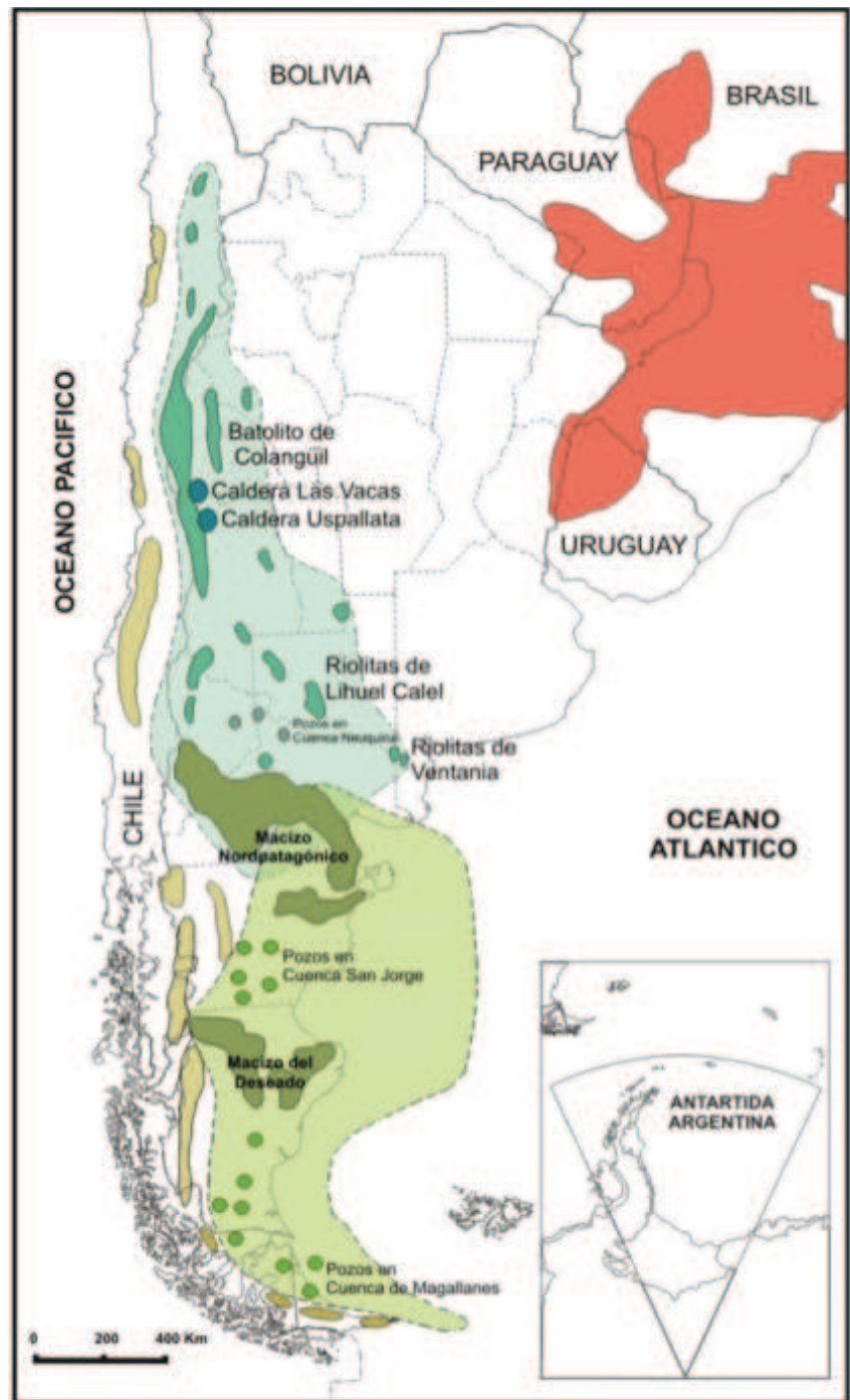
ACTUALMENTE, SE ESTÁN REALIZANDO NUMEROSOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN CONJUNTA ENTRE DIFERENTES EMPRESAS, ORGANISMOS NACIONALES, PROVINCIALES Y UNIVERSIDADES, CON EL FIN DE FOMENTAR LA APLICACIÓN DE LA CLINOPTILOLITA Y LA MORDENITA EN LA AGRICULTURA, LA REMEDIACIÓN DE SUELOS, EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL Y EN EL FILTRADO DE EFLUENTES CONTAMINADOS.



**Figura 12.** Mapa de la República Argentina con división política y con la distribución de las provincias ígneas pre-cenozoicas de la República Argentina. En las provincias ígneas Choyoi y Chon Aike, los círculos corresponden a datos de perforaciones y las áreas de tonos más claros indican la extensión inferida en profundidad por la evidencia de las perforaciones.

\*La provincia ígnea Chon Aike, de edad Jurásico Inferior a Medio, se asocia al magmatismo de arco del Complejo El Quemado y unidades equivalentes. Modificado de Ramos, V. (1999a).

- Provincia ígnea Choyoi (Carbonífero?-Triásico inferior)
- Provincia ígnea Chon Aike (Jurásico Inferior a medio)
- Complejo El Quemado y unidades equivalentes\* (Jurásico inferior a medio)
- Provincia ígnea de Paraná (Cretácico)



En el sector patagónico se desarrolló una serie de cuencas extensionales entre las que se destacan, por ejemplo, la Cuenca de Cañadón Asfalto (Figari, E. y Courtade, S. 1993) y el *rift* transversal al margen de la Cuenca del Golfo de San Jorge (Fitzgerald, M. *et al.* 1990) (figura 11). En la Patagonia extraandina, este ciclo extensional estuvo asociado al desarrollo de importantes plateau ignimbríticos, con términos lávicos (domos y coladas) y productos epiclásticos subordinados, que se agrupan bajo la denominación Provincia ígnea Chon Aike (Kay, S. *et al.* 1989; Pankhurst, R. y Rapela, C. 1993, 1995, entre otros) (figura 12). Esta provincia ígnea de edad Jurásico Medio a Superior, presenta amplia distribución en el Macizo Nordpatagónico oriental, en todo el ámbito del Macizo del Desierto, en el subsuelo de la Cuenca Austral, en la Cordillera Patagónica Austral, y se extiende en la plataforma continental y en la Antártida occidental (figuras 10 y 12).

A partir del Jurásico, se depositaron secuencias sedimentarias en cuencas intracratónicas de subsidencia térmica y retroarco (Legarreta, L. y Uliana, M. 1999). Estos depósitos son hallados desde el sur de San Juan hasta el sur de Neuquén, y constituyen gran parte del relleno de las cuencas Cuyana y Neuquina (Legarreta, L. y Gulisano, C. 1989) (figura 11).

Los episodios mesozoicos, en general, se caracterizaron por el dominio de un régimen extensional, vinculado a la apertura del Océano Atlántico, que generó grandes provincias magmáticas, como las formadas por los basaltos del rift cretácico, en Mesopotamia, Provincia ígnea de Paraná (figura 12), y cuencas extensionales, como la que se ubica en el noroeste argentino (Salfity, J. y Marquillas, R. 1999) (figura 11).

Como consecuencia de la actividad en el arco magmático mesozoico, los Andes Patagónicos Septentrionales están constituidos por las suites calcoalcalinas del Batolito Patagónico, formadas por una serie de episodios que se iniciaron en el Jurásico Superior, con un pulso principal en el Cretácico (Ramos, V. *et al.* 1982; Uliana, M. y Biddle, K. 1987; Rapela, C. y Kay, S. 1988, entre otros). Al mismo tiempo, se desarrollaron importantes secuencias volcánicas de composición intermedia que fueron cubiertas a su vez por extensos derrames basálticos en el Cretácico Superior.

La evolución y el desarrollo del ciclo orogénico andino muestran marcadas diferencias según la región geográfica de que se trate, condicionado por las variaciones en la velocidad y en el ángulo de convergencia entre la placa subducida y la Sudamericana, a diferentes latitudes (Pardo Casas, F. y Molnar, P. 1987; Silver, P. y Russo, R. 1996; Ramos, V.A. 1999b; Collins, W. 2002; Oncken, O. *et al.* 2006; Boekhout, F. *et al.* 2012). La disminución del ángulo de subducción, provocado por la subducción de una dorsal oceánica y/o por un aumento en la velocidad de convergencia, genera expansión del arco magmático hacia el antepaís y deformación contraccional (Collins, W., 2002; Gutscher, M., 2002; Ramos, V. 2005; Beltrando, M. *et al.* 2007; Lister, G. y Forster, M. 2009; Jones, R. *et al.* 2016); luego, el empinamiento de la placa subducida favorece el incremento de la actividad magmática, cuyos productos se alojan en cuencas extensionales, seguido por un gran volumen de erupciones máficas de intraplaca derivadas del manto y movilizadas por los procesos distensivos, con la formación final de los basaltos de *plateau*.

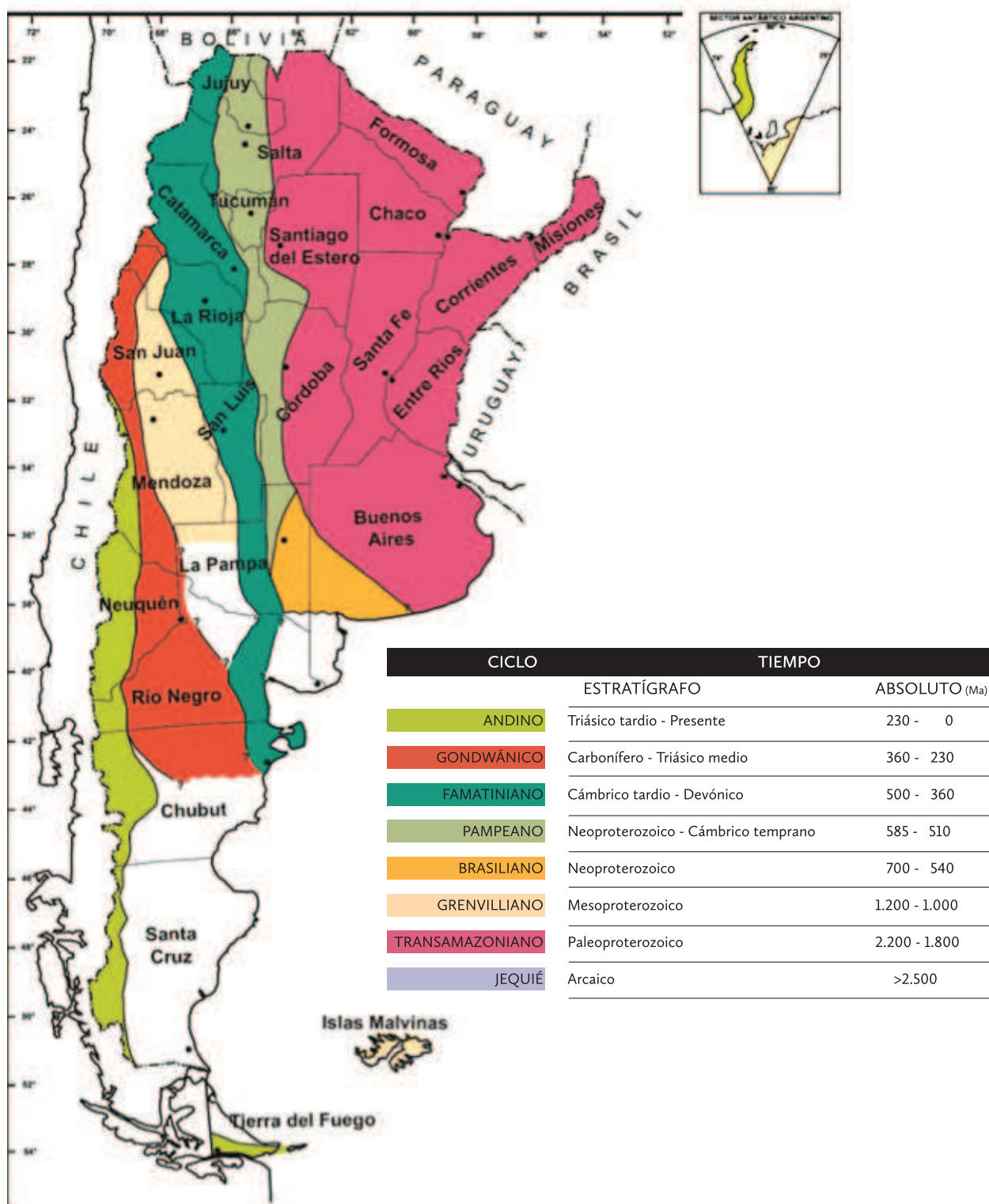


Por lo tanto, la alternancia de estas configuraciones fue determinando las variaciones en la localización, la composición y la geoquímica de la actividad magmática.

Tales variaciones en la configuración de la subducción produjeron también migraciones del frente orogénico y nuevas acumulaciones de sedimentos sinorogénicos, que consisten en secuencias epiclásticas con presencia de material piroclástico. Por ejemplo, en el segmento cordillerano central (30-34°S), la horizontalización de la placa durante el Mioceno (Isacks, B. *et al.* 1982; Jordan, T. *et al.* 1983; Ramos, V. 1999c, entre otros) produjo el desplazamiento del frente orogénico hacia el este (Kay, S. *et al.* 1991; Kay, S. y Gordillo, C. 1990, entre otros) con el desarrollo de cuencas intramontañas en el antepaís (figura 11), como las cubetas terciarias de Pagancillo. En el mismo período, en el segmento patagónico norte (al sur de los 41°S), se desarrolló la cuenca de antepaís Ñirihuau-Collón Cura (Cazau, L. *et al.* 2005) (figura 11).

En el segmento neuquino (38-41°S), durante el Plioceno, se produjo la migración del arco magmático hacia el oeste, lo cual trajo asociado el colapso extensional de ciertas estructuras y un importante volcanismo basáltico alcalino. En el Pleistoceno, la extensión se propagó hacia el eje de la Cordillera Principal y algunas calderas se formaron por colapsos tectónicos (Ramos, V. y Folguera, A. 2005), como la del volcán Copahue, que aún mantiene una importante actividad volcánica.

**Figura 13.** Mapa de la República Argentina con división política y con la distribución simplificada de los diferentes ciclos orogénicos (tomado de Varela, R. 2014).



## ZONAS DE OCURRENCIA

---

A lo largo de todo el territorio de la República Argentina pueden reconocerse diversas unidades tectonoestratigráficas, donde se encuentran diferentes tipos de depósitos y manifestaciones de zeolitas con potencial para su exploración y prospección. De esta manera, la mayoría de los yacimientos e indicios puede asociarse a alguna de las fajas litogenéticas propuestas por Gozávez, M. *et al.* (2004) para la República Argentina, y que se explican brevemente en los siguientes párrafos.

### FAJAS LITOGÉNÉTICAS FAMATINIANAS

#### *Basamento ordovícico-silúrico:*

Se encuentra en el ámbito de Sierras Pampeanas (figuras 10 y 13). Esta faja litogenética contiene fases pegmatíticas vinculadas a los granitoides sinorogénicos del Paleozoico Inferior. En algunas de las pegmatitas graníticas que afloran en las provincias de San Luis y Córdoba, se encontraron indicios de zeolitas vinculadas a un fundido residual de la etapa magmática pegmatítica, derivada del fraccionamiento de un granito parental rico en elementos de tierras raras (Galliski, M. *et al.* 2012), y a un evento de reemplazo tardío-pegmatítico derivado del fraccionamiento extremo (Demartis, M. *et al.* 2014).

LAS MANIFESTACIONES DE ZEOLITAS DE ESTE PAÍS SON MAYORITARIAMENTE DE ORIGEN DIAGENÉTICO O HIDROTERMAL, ASOCIADAS A ROCAS ÍGNEAS O A CAMPOS GEOTERMALES ACTIVOS.

---

## FAJAS LITOGÉNÉTICAS MESOZOICAS

### *Depósitos de rift jurásicos:*

Estos depósitos incluyen las secuencias volcano-clásticas y las efusiones volcánicas de la Provincia ígnea Chon Aike (figura 12). La mineralización zeolítica se asocia, por un lado, a vetas de fluorita vinculadas genéticamente con las rocas de la Formación Marifil, en el ámbito del Macizo Nordpatagónico (figura 10), en la provincia de Río Negro (Cortelezzi, C. 1966; Péndola, H. y Latorre, C. 1975; Aliotta, G. 1999); y por otro, a los procesos de zeolitización producidos por la desvitrificación del vidrio volcánico contenido en las tobas y volcanitas que afloran en el Macizo del Deseado (figura 10), en las provincias de Chubut y Santa Cruz (Cortelezzi, C. y Mussachio, E. 1973; Andreis, R. e Iñiguez Rodríguez, A. 1968; Cravero, M. y Domínguez, E. 1993).

### *Depósitos marinos y litorales del Cretácico-Terciario:*

Estos depósitos involucran secuencias marinas del Cretácico-Terciario Inferior presentes en la Cuenca Neuquina (figura 11), en algunas cubetas mesozoicas del noroeste argentino y en las costas orientales de la Patagonia (figura 11). Estas sedimentitas presentan intercalaciones de tobas y niveles de bentonitas que actualmente son explotados. La génesis de estos yacimientos es similar a la de las zeolitas diagenéticas, es decir, por desvitrificación del vidrio volcánico, por lo que

es frecuente encontrarlas asociadas a esmectitas. Algunos ejemplos de manifestaciones de zeolitas relacionadas con bentonitas pueden encontrarse en los yacimientos de Lago Pellegrini, en Río Negro (Impiccini, A. 1993 y 1995; Musso, T. *et al.* 2012), y los localizados en los departamentos de Añelo y Zapata, en Neuquén (Impiccini, A. 1993 y 1995; Valles, J. e Impiccini, A. 1994 y 1996).

### *Depósitos continentales cretácicos:*

Estos incluyen las unidades continentales del Cretácico Inferior-Terciario Inferior, con buena representación en las provincias de Jujuy, San Luis, Neuquén, Santa Cruz y Chubut. Hasta el momento, se han reportado zeolitas en las tobas del Grupo Chubut (Vilela, C. 1952; Teruggi, M. 1962; Teruggi, M. y Andreis, R. 1963; Zalba, P. *et al.* 2000; Zunino, J. *et al.* 2005; Marquetti, C. *et al.* 2016).

### *Volcanitas del rift cretácico:*

Se congregan en este grupo las volcanitas y rocas hipabisales alcalinas que afloran en las provincias de Córdoba y Misiones. Los indicios de zeolitas se vinculan a la actividad hidrotermal que acompaña a este magmatismo (Teruggi, M. 1952; Latorre, C. y Vattuone, M.E. 1985; Cortelezzi, C. *et al.* 1987; Galliski, M. *et al.* 1992 y 1996; Piovano, E. *et al.* 1993; Lagorio, S. y Montenegro, T. 1996; Montenegro, T. y Quenardelle, S. 2000).

## FAJAS LITOGÉNÉTICAS ÁNDICAS

### *Depósitos de las cuencas neógenas:*

Se agrupan aquí los sedimentos neógenos continentales sinorogénicos del Bloque San Rafael, Precordillera, Sierras Pampeanas, Famatina, Cordillera Oriental y Sierras Subandinas. Contiene los únicos yacimientos de zeolitas explotados hasta el momento en la República Argentina, como los del Distrito Paganzo, en la provincia de La Rioja (Agosto, F. *et al.* 2005; Carrizo, R. *et al.* 2006).

### *Volcanitas del arco magmático:*

Incluye rocas volcánicas, volcanoclásticas e hipabisales de ambiente de arco, con edades que van desde el Jurásico hasta el Holoceno. La presencia de zeolitas en estas rocas es muy frecuente a lo largo de la Cordillera Patagónica (figura 10), principalmente en las provincias de Neuquén y de Chubut, donde están asociadas a procesos de alteración hidrotermal y/o metamorfismo de muy bajo grado (Cortelezzi, C. y Musacchio, E. 1973; Hayase, K. *et al.* 1974; Maiza, P. y Hayase, K. 1975; Mas, G. y Bengochea, L. 1982; Mas, G. *et al.* 1990; Latorre, C. y Vattuone, M.E. 1990; Latorre, C. *et al.* 1990; Vattuone, M.E. y Latorre, C. 1990, 1996a y 1999; Vattuone, M.E. *et al.* 1996a, 1997,

1999, 2000a, 2001a, 2005 y 2008; Depine, G. *et al.* 2003; Gargiulo, M.F. y Vattuone, M.E. 2008; Leal, P. *et al.* 2011). Estos indicios son también visibles en algunas islas de la porción argentina del territorio antártico (Massaferro, G. y Lagorio, S. 1994; Montenegro, T. 2013).

### *Volcanitas e intrusivos de retroarco:*

En este grupo se consideran las rocas ígneas alcalinas del Cretácico Superior al Plioceno, vinculadas al magmatismo de intraplaca; ya sea como producto del empujamiento de la placa subducida o por anomalías térmicas del manto. Estas rocas se encuentran generalmente en la Patagonia extraandina, en las provincias de Río Negro, Chubut y Santa Cruz. Consisten principalmente en basaltos de *plateau* y en pequeños cuerpos intrusivos de composición variada, específicamente gábrica, monzogábrica y sienítica. Se ha reportado la presencia de analcima y otras zeolitas alcalinas de génesis hidrotermal en los cuerpos intrusivos de composición sienítica (Teruggi, M. 1964; Viviers, M.C. 1970; Pezzutti, N.E. y Villar, L.M. 1978; Menegatti, N. *et al.* 2014).



## TIPOLOGÍA DE LOS YACIMIENTOS

De acuerdo con la clasificación de los depósitos de zeolitas referida por Pérez Guerrero, D. *et al.* (2003), se reconocen tres tipos genéticos de manifestaciones de zeolitas en Argentina. A saber:

### *Depósitos diagenéticos:*

Son de yacencia estratiforme, vinculados a los procesos de desvitrificación y de alteración hidrotermal de niveles de tobas o tufitas depositadas en cuencas sedimentarias. Eventualmente, la irregularidad del proceso de zeolitización en estos niveles provocó la concentración de la mineralización en bolsones de tipo estratoligado. Estas “zeolitas sedimentarias” se asocian a las fajas litogenéticas mesozoicas, referidas previamente como *Depósitos del rift jurásico*, *Depósitos marinos y litorales del Cretácico-Terciario* y *Depósitos continentales cretácicos*, así como a la faja litogenética ándica, correspondiente a los *Depósitos de cuencas neógenas*. Los yacimientos de zeolitas de tipología diagenética son los que se encuentran actualmente en explotación.

### *Depósitos hidrotermales:*

Están localizados en los rellenos de fracturas, en los planos de discontinuidad intercristalina o en las cavidades de las rocas ígneas. También se pueden formar por reemplazo de silicatos que se originaron durante los procesos de diferenciación magmática, principalmente del grupo de los feldespatos. Los yacimientos de zeolitas de génesis hidrotermal son los más diversos, entre los cuales pueden distinguirse diferentes subtipos. Sin embargo, ninguno de ellos, por lo general, alcanza

leyes significativas que aseguren su posible explotación. Las manifestaciones vinculadas con procesos de metamorfismo de muy bajo grado y/o de alteración hidrotermal en rocas ígneas de diferentes edades y ambientes tectónicos, se asocian a distintas fajas litogenéticas, aunque las que contienen la mayor cantidad de indicios y diversidad de especies de zeolitas reportadas son las correspondientes a la faja metalogenética ándica, en las *volcanitas del arco magmático*, especialmente en el segmento norte de la Cordillera Patagónica (figura 10), en los Andes Patagónicos Septentrionales. Más escasas son las manifestaciones de zeolitas hidrotermales vinculadas a la faja metalogenética mesozoica, constituida por las volcanitas del *rift cretácico* y los depósitos vetiformes de fluorita de la faja formada por los depósitos de *rift jurásicos*; así como las zeolitas alcalinas hidrotermales detectadas en la faja metalogenética ándica, donde yacen las *volcanitas e intrusivos de retroarco*.

### *Indicios de zeolitas magmáticas:*

Estos indicios se refieren tanto a las zeolitas formadas en pegmatitas graníticas originadas a partir de su diferenciación extrema durante las etapas magmáticas tardías, y que están presentes en la faja metalogenética famatiniana del *basamento ordovícico-silúrico*, como a las que se encuentran en los diferenciados foidíferos y basaltos de *plateau*, pertenecientes a la faja metalogenética ándica con *volcanitas e intrusivos de retroarco*. En este último caso, se menciona la ocurrencia de analcima magmática, posiblemente como producto de reemplazo de feldespatoides.

## CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MINERALÓGICA

---

Las zeolitas identificadas y estudiadas en la República Argentina se describen en las páginas siguientes en orden alfabético. Se indican las determinaciones de las fases mineralógicas y cristalinas mediante difracción de rayos X, así como sus propiedades físicas, ópticas y químicas para cada yacimiento. La mayor parte de la información compilada en este apartado, corresponde al libro de las Especies Minerales de la República Argentina Tomo III, Clase 9: Silicatos (Brodtkorb, M. *et al.* 2007).

ANALCIMA       $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (estructura variable)

### *Río Senguerr, Sarmiento, provincia de Chubut:*

Se encuentra en tobas y areniscas de la *Formación Castillo (Grupo Chubut)*. Se presenta en granos muy pequeños, como reemplazo de la base vitroclástica y en venas formando cristales con formas de icositetraedros. Se determinó por difracción de rayos X (DRX) y óptica (Teruggi, M. 1962).

### *Naunauco, provincia de Neuquén:*

Forma los rellenos de venillas y como alteración hidrotermal de una andesita hipabisal que intruye a las sedimentitas marinas cretácicas del Grupo Mendoza. En el relleno de las venillas se encuentra tapizando las paredes de la cavidad, seguida de natrolita y calcita hacia el centro. También se halla como reemplazo de los individuos de plagioclasa de la andesita, en asociación con albita. Forma pequeños cristales translúcidos, idiomorfos, de hábito icositetraédrico, de entre 0,8 y 2 mm de diámetro. Se determinó a través de sus propiedades ópticas, DRX con parámetros de celda unidad, espectroscopía de infrarrojo (IR), análisis térmico diferencial (ATD), análisis termo-gravimétricos (ATG) y análisis químicos (Mas, G. y Bengochea, L. 1982).

LA MAYOR VARIEDAD DE ESPECIES DE ZEOLITAS SE HA REPORTADO EN DIFERENTES LOCALIDADES DE LOS ANDES PATAGÓNICOS SEPTENTRIONALES, Y CUYO ORIGEN ES HIDROTERMAL Y/O ESTÁ VINCULADO AL METAMORFISMO DE MUY BAJO GRADO.

---

#### *Rucachoroi, provincia de Neuquén:*

Se encuentra como relleno de venas y venillas en basaltos olivínicos de edad Mioceno asociada a calcita, natrolita, thomsonita, laumontita, heulandita, estilbita y celadonita. Es monoclinica con 2V variable desde 5° hasta 70° y signo óptico (-), con dispersión  $r > v$ . Fue caracterizada ópticamente, por DRX, ATD, ATG y espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDS) (Latorre, C. *et al.* 1990).

#### *Cerro La Madera, provincia de Córdoba:*

Se localiza en diques melanocráticos de nefelinita con predominio de augita, nefelina, analcima y mesostasis vítrea, que atraviesan a pegmatoides foifíferos. La analcima se habría formado por un probable pseudomorfismo de sodalita. Fue determinada por óptica y DRX (Galliski, M. *et al.* 1992, 1996).

#### *Los Cóndores, provincia de Córdoba:*

La analcima cálcica (serie analcima-wairakita) se localiza en vesículas de traquitas de edad Cretácico, acompañada por calcita y arcillas. Es uniáxica (-) a biáxica (+) con ángulo 2V variable. Como dato interesante, revela la presencia de  $P_2O_5$ . Fue caracterizada ópticamente, por DRX, ATD, ATG y varios análisis químicos por EDS (Lagorio, S. y Montenegro, T. 1996).

#### *Cerro Madre e Hija, provincia de Santa Cruz:*

La analcima aparece rellenando venillas en rocas volcánicas básicas. Está asociada a estilbita, heulandita, phillipsita, mordenita, cuarzo, calcedonia, ópalo y calcita. Fue determinada por óptica y DRX (Aliotta, G. *et al.* 1996).

#### *Confluencia, provincia de Neuquén:*

Yace en amígdalas, venas y venillas de basaltos olivínicos asociada a barrerita, tetranatrolita, paranatrolita, heulandita y estilbita. Es monoclinica, con ángulo 2V variable, dispersión  $r > v$ . Fue caracterizada ópticamente, por DRX, ATD, ATG y varios análisis químicos con EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2001a). Un poco más al sur, cerca del brazo Huemul del Lago Nahuel Huapi, se determinó la presencia de analcima en el cemento de una brecha volcánica, asociada a esmectitas, heulandita y natrolita. Los cristales son equidimensionales, de baja birrefringencia y casi isótropos. Se realizaron análisis químicos con EDS (Gargiulo, M.F. 2005).

#### *Junín de los Andes, provincia de Neuquén:*

Aparece en basaltos alcalinos como alteración del vidrio volcánico junto a montmorillonita cálcica, phillipsita, paulingita y chabazita, y como relleno de los bordes de amígdalas, asociada a chabazita sódica. La analcima se encuentra en cristales idiomorfos de icositetraedro y cubo de hasta unos 5 mm. Es incolora, transparente y con brillo vítreo; al microscopio es ligeramente anisótropa (variedad rómbica) y se observan sus características maclas en dos juegos que se cortan a 90°. Mediante DRX se identificaron analcima rómbica y cúbica, y se calcularon los parámetros de ambas celdas. También se realizaron análisis mediante EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2008).

### *Isla Jaime Ross, Antártida:*

Se desarrolla en las amígdalas de los basaltos con edades que varían desde el Mioceno hasta el Holoceno. Los rellenos de las amígdalas han sido estudiados con técnicas petrográficas convencionales, microscopía electrónica de barrido (MEB), EDS y DRX. Todas las zeolitas están enriquecidas en Na. La chabazita rica en sodio se encuentra intercrecida con gmelinita, y tapizan las paredes de las ca-

vidades, acompañadas por analcima, thomsonita, phillipsita, y calcita hacia el centro. La analcima ha sido reconocida por su forma cristalina ya que constituye cristales cúbicos con perfecto desarrollo de icositetraedros {hkk}. Además, en otros sectores del basalto, forma agregados de grano muy fino, de coloración gris, originados como productos de la desvitrificación (Montenegro, T. 2013).

	a	b	c	d	e	f	g
SiO <sub>2</sub>	56,51	60,97	61,44	51,20	54,92	53,48	65,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,54	17,37	20,54	19,95	22,58	21,91	21,09
CaO	3,01	2,97	2,35	-	1,92	3,39	0,00
Na <sub>2</sub> O	8,46	4,93	9,67	12,84	10,58	11,22	7,37
K <sub>2</sub> O	1,24	0,59	0,00	-	0,00	0,00	0,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	3,90	-	-	-	-	-
H <sub>2</sub> O	8,22	8,18	6,06	16*	10*	10*	6*
Total	99,98	99,97	100,06	100	100	100	100

a- Rucachoroi, Neuquén. H<sub>2</sub>O por ATG.

b- Los Cóndores, Córdoba. H<sub>2</sub>O por ATG.

c- Confluencia, Neuquén. H<sub>2</sub>O por ATG.

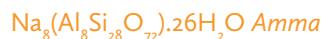
d- Isla Jaime Ross, Antártida.

e y f- Junín de los Andes, Neuquén.

g- Brazo Huemul, lago Nahuel Huapi, Neuquén.

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.

## BARRERITA



### *Cholila, Futalaufquen, provincia de Chubut:*

Suele encontrarse en las amígdalas de los basaltos de edad Jurásico-Cretácico, asociada a offretita, albita, adularia, cuarzo, cristobalita y esmectitas. Fue caracterizada ópticamente, por microscopía electrónica, DRX (con determinación de parámetros de celda unidad) y análisis químicos por EDS (Latorre, C. *et al.* 2000; Vattuone, M.E. y Latorre, C. 2002a; Vattuone, M.E. *et al.* 2002, 2005).

### *Confluencia, provincia de Neuquén:*

Aparece en venas y amígdalas de basaltos y andesitas de edad Terciario, asociada a clinoptilolita, heulandita, tetranatrolita, estellerita, estilbita y analcima. Se encuentra en agregados cristalinicos de hábito acicular a hojoso, con individuos de hasta 5 mm de longitud, de color blanco. Fue caracterizada por sus propiedades físicas, ópticas, DRX (con determinación de parámetros de la celda unidad), ATD, ATG y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2001a, b; 2007a).

	a	b	c**
SiO <sub>2</sub>	61,20	58,78	58,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,57	16,06	14,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	0,04
CaO	1,41	0,65	1,66
Na <sub>2</sub> O	5,08	8,51	5,97
K <sub>2</sub> O	0,85	0,00	1,76
H <sub>2</sub> O	15,89*	16,00	16,40
Total	100,00	100,00	99,64

a- Futalaufquen, Chubut.

b- Confluencia, Neuquén. H<sub>2</sub>O por ATG.

c- Localidad tipo: Cabo Pula, Cerdeña, Italia. (Anthony, J. *et al.* 1995).

\*\* Con trazas de MnO, BaO y SrO.

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.

## CHABAZITA-Ca



### *Cantera Freyer, El Dorado, provincia de Misiones:*

La chabazita se encuentra en amígdalas desarrolladas en basaltos de la *Formación Serra Geral* junto con celadonita, calcedonia, cuarzo, heulandita y estilbita. Fue identificada por su hábito romboédrico pseudocúbico con macla de interpenetración, por sus propiedades ópticas, y mediante DRX, ATD y análisis químico de Ca, Na y K (Latorre, C. y Vattuone, M.E. 1985).

### *Isla Vega, Antártida:*

Se presenta en amígdalas de basaltos terciarios pertenecientes al *Grupo Volcánico de la Isla James Ross*, asociada a phillipsita. Fue caracterizada por su morfología, propiedades ópticas, DRX, ATD, IR y análisis químicos por EDS (Massaferro, G. y Lagorio, S. 1994).

### *Paso del Córdoba, provincia de Neuquén:*

Se aloja en microamígdalas formadas en rocas volcánicas paleógenas en asociación con heulandita, estilbita, estellerita y esmectitas. Fue caracterizada por su morfología, DRX y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 1996a).

### *Cerro Madre e Hija, provincia de Santa Cruz:*

La chabazita s.l. se encuentra como alteración de plagioclasas en las andesitas de la *Formación Bajo Pobre*, asociada a natrolita y acompañada por clorita, celadonita y halloysita. Fue determinada por su morfología y propiedades ópticas (Aliotta, G. *et al.* 1996).



### *Cerro Chapelco, provincia de Neuquén:*

Constituye el relleno de las vesículas desarrolladas en basaltos en paragénesis con apofilita y cuprita, y asociada a laumontita, pectolita, cobre nativo, pumpellyita, epidoto, montmorillonita-nontronita, interestratificados clorita/esmectita, clorita, titanita y calcita. Caracterizada por su morfología pseudorromboédrica y maclas, además de sus propiedades ópticas, DRX, y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. y Tourn, S. 2002).

	a	b	c	d
SiO <sub>2</sub>	51,29	47,88	54,43	47,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,93	12,24	18,60	20,40
MgO	-	Tr.	0,00	0,20
CaO	4,00	14,94	6,50	10,52
Na <sub>2</sub> O	1,76	3,48	0,00	0,32
K <sub>2</sub> O	3,02	0,00	0,47	0,92
H <sub>2</sub> O	22,00*	20,00*	20,00*	19,72
Total	100,00	98,54	100,00	99,64

a- Isla Vega, Antártida.

b- Paso del Córdoba (Trafal), Neuquén.

c- Cerro Chapelco, Neuquén.

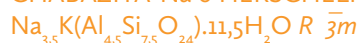
d- Localidad tipo: Ritter, Hot Spring, Oregon, EEUU (Anthony, J. *et al.* 1995).

\* Contenido de H<sub>2</sub>O por diferencia.

Tr.: contenido traza.

A LO LARGO DE TODO EL TERRITORIO DE LA REPÚBLICA ARGENTINA PUEDEN RECONOCERSE DIVERSAS UNIDADES TECTONOESTRATIGRÁFICAS, DONDE SE ENCUENTRAN DIFERENTES TIPOS DE DEPÓSITOS Y MANIFESTACIONES DE ZEOLITAS CON POTENCIAL PARA SU EXPLORACIÓN Y PROSPECCIÓN.

## CHABAZITA-Na o HERSCHELITA



### Cantera Freyer, El Dorado, provincia de Misiones:

Se encuentra yaciendo en los basaltos toleíticos de la *Formación Serra Geral* junto con heulandita. Fue caracterizada por su hábito romboédrico tabular, sus propiedades ópticas, DRX, IR y por análisis químicos tradicionales por vía húmeda (Cortelezzi, C. *et al.* 1987).

### Isla Jaime Ross, Antártida:

Suele aparecer en amígdalas de basaltos de edades que varían desde el Mioceno hasta el Holoceno. Los rellenos de las amígdalas han sido estudiados con técnicas petrográficas convencionales, MEB, EDS y DRX. Todas las zeolitas están enriquecidas en sodio. La chabazita rica en sodio se encuentra intercrecida con gmelinita, y tapizan las paredes de las cavidades, acompañadas por analcima, thomsonita, phillipsita, y calcita hacia el centro. La chabazita forma cristales trigonales, con romboedros, pinacoides y prismas desarrollados en grado variable (Montenegro, T. 2013).

### Junín de los Andes, provincia de Neuquén:

Se localiza en las amígdalas desarrolladas en basaltos alcalinos, junto a analcima, phillipsita, paulingita, natrolita, gonnardita sódica, mesolita, escolecita y thomsonita. La chabazita sódica y la analcima forman una asociación en los bordes de las amígdalas. La primera es de hábito pseudorromboédrico, color rosado y brillo vítreo. Sus dimensiones son de un milímetro. Tiene extinción simétrica. El ángulo  $2V=25^\circ$ , signo óptico (+). Presenta dos juegos de maclas de contacto. Se estudió por DRX, con cálculo de parámetros de celda y por EDS (Vattuone, M.E *et al.* 2008).

### Cerro Jarilloso, Llancanelo, provincia de Mendoza:

En un depósito hidroclástico del *Campo basáltico Llancanelo*, en la porción norte de la provincia geológica Payenia, se describieron agregados cristalinos subesféricos de zeolitas, de hasta 2mm de diámetro, que rellenan las vesículas de los piroclastos juveniles fuertemente alterados. Se identificaron mediante DRX: chabazita (mejor coincidencia chabazita sódica) y plagioclasa, como componentes mayoritarios, y calcita como especie minoritaria (Di Tommaso, I. *et al.* 2011).

	a	b	c	d	e	f	g
SiO <sub>2</sub>	45,82	53,86	56,20	46,87	46,81	46,82	47,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,27	20,63	20,61	20,19	20,17	20,30	20,90
MgO	-	-	-	0,00	0,00	0,00	-
CaO	4,10	5,16	1,07	3,09	2,20	1,84	0,38
Na <sub>2</sub> O	5,71	7,25	10,12	7,85	8,81	9,03	8,33
K <sub>2</sub> O	2,52	1,08	-	0,00	0,00	0,00	4,39
H <sub>2</sub> O	22,87	12*	12*	22*	22*	22*	17,84
Total	99,29	100	100	100	100	100	99,23

a- Cantera Freyer, El Dorado, Misiones.

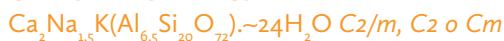
b, c- Isla Jaime Ross, Antártida.

d, e, f- Junín de los Andes, Neuquén.

g- Localidad tipo: Aci Castello, Sicilia, Italia (Anthony, J. *et al.* 1995).

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.

## CLINOPTILOLITA-Ca



Es la zeolita más común en Argentina. Representa el componente principal de los depósitos de zeolitas diagenéticos vinculados a niveles sedimentarios, y corresponde a la especie mineral que actualmente se encuentra en explotación junto con la mordenita.

### *Anfiteatro Picó, provincia de Santa Cruz:*

La clinoptilolita s.l. está focalizada en las tobas del Jurásico Superior de la *Formación La Matilde*. Reconocida por sus propiedades ópticas, DRX y análisis químicos (Andreis, R. e Iñiguez Rodríguez, A. 1968).

### *Villa La Angostura, provincia de Neuquén:*

Se encuentra en los basaltos de la *Serie Andesítica Andina*, asociada a estilbita, cristobalita y montmorillonita en la subfacies de la estilbita. Fue determinada por sus propiedades ópticas, DRX y análisis químicos por EDS (Latorre, C. y Vattuone, M.E. 1994a).

### *Confluencia, provincia de Neuquén:*

Se emplaza como relleno de diaclasas, asociada a heulandita cálcica, estellerita, estilbita cálcica, heulandita, barrerita, paranatrolita y tetranatrolita/gonnardita. Se encuentra también en los basaltos de la *Serie Andesítica*, afectados por el metamorfismo de muy bajo grado en los que aparecen también yugawaralita, laumontita, wairakita, epidoto, pumpellyita y pectolita. Fue caracterizada por cristalografía, propiedades ópticas, DRX, se realizaron observaciones con MEB y varios análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2001a).

### *Río Blanco, Ullúm, provincia de San Juan:*

La zeolita de la variedad clinoptilolita s.l. se encuentra en cuerpos subvolcánicos de composición intermedia del Mioceno Medio, afectados por una intensa alteración argílica. La clinoptilolita s.l. se determinó a través de sus propiedades ópticas y por DRX (Lanzilotta, I. *et al.* 2002).

### *Cantera El Toba, distrito Paganzo, provincia de La Rioja:*

La clinoptilolita fue identificada por DRX en tobas de caída (Agosto, F. *et al.* 2005).

### *Manifestación de los Tachos, volcán Domuyo, provincia de Neuquén:*

Se encuentra junto con la heulandita en el sector oeste y este de esta manifestación geotermal, asociada en la primera con epidoto, clorita, calcita, aragonita, cristobalita y cuarzo; y en la segunda, a tridimita, cristobalita, cuarzo y halloysita. La clinoptilolita fue identificada a través de estudios ópticos, análisis químicos por EDS, estudios con DRX de cambio de estructura al calentar la muestra, DTA/TGA y análisis de infrarrojo (Cocola, M.A. *et al.* 2010).

	a	b	c
SiO <sub>2</sub>	64,90	64,77	68,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,05	12,91	11,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,99	-	0,00
MgO	0,00	0,00	0,12
CaO	6,05	7,32	3,26
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	1,51
K <sub>2</sub> O	0,73	0,00	2,14
H <sub>2</sub> O	15,00*	15,00*	12,67
Total	100,00	100,00	100,00

a- Villa La Angostura, Neuquén.

b- Confluencia, Neuquén.

c- Oregon, EEUU (Anthony, J. *et al.* 1995).

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.

#### DACHIARDITA-Ca



##### *Nahuel Pan, Esquel, provincia de Chubut:*

Aparece como cemento de brechas andesíticas de edad Cretácico alteradas hidrotermalmente. Se encuentra en paragénesis con yugawaralita, prehnita, adularia, albita, cuarzo, pectolita; también asociada a mordenita y cristobalita. Aparece, asimismo, alterada a calcita. Fue caracterizada a través de sus propiedades ópticas, presencia de maclas, DRX (con cálculo de los parámetros de celda unidad) y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. y Latorre, C. 2002b; Vattuone, M.E. *et al.* 2006a).

#### EPISTILBITA



##### *China Muerta, Catán Lil, provincia de Neuquén:*

Suele ocupar las cavidades que se forman en los basaltos olivínicos que intruyen *la Formación La Amarga*. Ha sido caracterizada por su morfología, índices de refracción, DRX e IR (Cortelezzi, C. y Musacchio, E. 1973).

	a	b
SiO <sub>2</sub>	67,85	63,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,49	14,31
Cs <sub>2</sub> O	0,00	0,96
MgO	0,00	0,00
CaO	5,47	5,49
Na <sub>2</sub> O	0,00-	1,20
K <sub>2</sub> O	2,20	1,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-
H <sub>2</sub> O	12,99*	12,79
Total	100,0	100,0

a- Nahuel Pan, Esquel, Chubut.

b- Localidad tipo: Elba, Italia (Anthony, J. *et al.* 1995).

\* Contenido de H<sub>2</sub>O por diferencia.

SE RECONOCEN  
TRES TIPOS GENÉTICOS  
DE MANIFESTACIONES  
DE ZEOLITAS  
EN ARGENTINA:  
*DEPÓSITOS  
DIAGENÉTICOS,  
HIDROTERMALES  
Y MAGMÁTICAS.*

## ESCOLECITA

$\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  Cc

### Confluencia, provincia de Neuquén:

Esta especie yace en amígdalas de basaltos paleógenos, con mesolita y wairakita sódica, acompañada ocasionalmente por heulandita y esmectitas. Se caracterizó por su hábito cristalino, sus propiedades ópticas ( $2V=-35^\circ$ ), estudios de DRX, MEB y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2001a).

### Junín de los Andes, provincia de Neuquén:

La escolecita se localiza en amígdalas de basaltos alcalinos, junto a analcima, phillipsita, paulingita, natrolita, gonnardita sódica, mesolita, chabazita y thomsonita. Forma agregados fibroso-radiado-divergentes en intercrecimientos epitáxicos con mesolita. Presenta extinción oblicua, hábito acicular característico, elongación negativa, figura de interferencia perpendicular a la bisectriz obtusa en la sección prismática,  $2V=80^\circ$  y signo óptico (-). Fue determinada por sus características ópticas y por análisis químicos por EDS (Vattuone, M. E. *et al.* 2008).

### Ñorquínco-Pulmarí, Aluminé, provincia de Neuquén:

Se encuentra como producto secundario en amígdalas, y como alteración de fenocristales y matriz de un basalto alcalino de edad Mioceno, en paragénesis con escolecita, faujasita-Ca, thomsonita-Ca y phillipsita. La escolecita fue identificada por DRX (con cálculo de parámetros de celda unidad) y mediante EDS (Gallegos, E. *et al.* 2008).

	a	b	c	d
$\text{SiO}_2$	46,56	47,13	46,37	45,94
$\text{Al}_2\text{O}_3$	24,76	26,95	25,80	25,99
CaO	13,93	15,92	13,58	14,29
$\text{Na}_2\text{O}$	1,75	0,00	0,64-	-
$\text{H}_2\text{O}$	13,00*	10,00*	13,84	13,78
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

a- Confluencia, Neuquén.

b- Junín de los Andes, Neuquén.

c- Monte Rosa, Italia (Deer, W. *et al.* 2004).

d- Teórico. Webmineral.

\*  $\text{H}_2\text{O}$  por diferencia.

ACTUALMENTE, LA MINERÍA DE ZEOLITAS EN ARGENTINA SE ESTÁ LLEVANDO A CABO EN LA PROVINCIA DE LA RIOJA, EN EL DEPARTAMENTO INDEPENDENCIA, DONDE SE LOCALIZAN MINERALIZACIONES ESTRATIFORMES A ESTRATOLIGADAS VINCULADAS A LAS SEDIMENTITAS TERCIARIAS DE LA CUENCA DE PAGANCILLO.



#### ESTILBITA-Ca

$(\text{Ca}_{0,5}\text{KNa})[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}]\cdot 28\text{H}_2\text{O}$  C2/m

##### *Mina San Martín, Valcheta, provincia de Río Negro:*

Ha sido localizada en venas que cortan vetas de fluorita. Fue caracterizada por sus propiedades físicas, ópticas, análisis químicos por vía húmeda, DRX, ATD e IR (Cortelezzi, C. 1966).

##### *Mina La Alegría, Los Menucos, provincia de Río Negro:*

Se ha descrito en vetas hidrotermales asociadas a filones de fluorita, en roca de caja de composición riolítica de la *Formación Sierra Colorada*. Desarrolla cristales de color salmón, de 1 cm de tamaño. Fue caracterizada por su morfología, sus propiedades físicas, ópticas (con platina universal), estudios de DRX, ATD y análisis químicos de Ca, Na, K y Mg (Péndola, H. y Latorre, C. 1975).

##### *Lago Aluminé, provincia de Neuquén:*

Aparece en cristales de hasta 5 mm de longitud, de color naranja. Se formó por la acción de soluciones hidrotermales que circularon a través de fisuras y produjeron metamorfismo de la facies de las zeolitas en rocas graníticas y basaltos. Está ampliamente extendido en toda el área. Se asocia a heulandita y cuarzo. Fue determinada por sus propiedades ópticas, DRX y análisis químicos con EDS (Latorre, C. y Vattuone, M.E. 1990).

##### *Carilil, Rucachoroi, provincia de Neuquén:*

Es un producto de la alteración hidrotermal y del metamorfismo de muy bajo grado que afectó los basaltos de edad Mioceno. Está asociada con analcima, natrolita, heulandita, thomsonita, laumontita y celadonita. Fue caracterizada por morfología, propiedades ópticas, DRX y análisis químicos por EDS (Latorre, C. *et al.* 1990).

##### *La Granja, Sierras Chicas, provincia de Córdoba:*

Aparece formando nódulos en las areniscas rojas de la *Formación Saldán*, de edad Cretácico. Se encuentra acompañada por heulandita, mientras que en el centro de los nódulos se desarrolla calcita. Está vinculada a un proceso hidrotermal relacionado con las volcanitas cretácicas. La estilbita se presenta además como agregados cristalinos radiales de 0,5 a 12 mm de largo por 0,2 a 6 mm de ancho. Fue determinada por DRX, óptica, MEB y análisis químicos por EDS (Piovano, E. *et al.* 1993).

##### *Aluminé, provincia de Neuquén:*

Se presenta en forma de agregados cristalinos tabulares de disposición radial. Está asociada con epidoto, cuarzo, tremolita-actinolita, albita, arcillas y calcita. Fue caracterizada por propiedades ópticas, DRX, ATD, IR y análisis químicos por EDS (Massaferro, G. y Lagorio, S. 1993).

##### *Villa La Angostura, provincia de Neuquén:*

Forma cristales de hasta 2 cm de tamaño localizados en venas de los basaltos paleógenos, y son productos de la alteración hidrotermal en la parte baja de la facies de las zeolitas (subfacies estilbita). Está asociada a clinoptilolita cálcica, cristobalita y montmorillonita. Fue determinada por sus características morfológicas, propiedades ópticas, DRX, IR y análisis químicos por EDS (Latorre, C. y Vattuone, M.E. 1994a).

#### *Paso del Córdoba, provincia de Neuquén:*

Se ha formado a cuenta de un metamorfismo hidrotermal de muy bajo grado que afectó las volcanitas paleógenas. Está asociada a estellerita, y es posible localizarla en los afloramientos donde se ha detectado la presencia de laumontita, yugawaralita, wairakita, heulandita y chabazita. Fue caracterizada por su morfología, propiedades ópticas, DRX, ATD y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 1996a).

#### *Cerro Madre e Hija, provincia de Santa Cruz:*

La estilbita s.l. aparece rellenando venillas, y son productos de la alteración hidrotermal de andesitas de la Formación Bajo Pobre. Está asociada a heulandita y analcima. Fue determinada por su morfología, DRX, ATD y ATG (Aliotta, G. *et al.* 1996).

#### *Pío Proto, San Martín de los Andes, provincia de Neuquén:*

Se ha formado a causa del metamorfismo de muy bajo grado que han sufrido los basaltos paleógenos. Se halla asociada a estellerita y heulandita en los afloramientos que contienen yugawaralita, laumontita, prehnita, pumpellyita, pectolita y esmectitas. Ha sido caracterizada por su morfología, propiedades ópticas, DRX, ATD y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 1999).

#### *Campo geotérmico Copahue, provincia de Neuquén:*

Se halla en los niveles superiores de las perforaciones, asociada a cristobalita. Fue determinada por propiedades ópticas y DRX (Mas, G. *et al.* 1999).

	a	b	c	d	e	f	g
SiO <sub>2</sub>	54,30	59,47	58,03	56,95	56,35	52,70	58,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,00	14,40	16,08	14,08	13,47	17,71	14,17
CaO	12,50	9,42	7,99	9,29	7,22	7,76	7,79
MgO	0,5	0,00	0,00	0,53	0,00-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2	-	-	0,08	1,64	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,2	0,00-	0,43	0,68	0,67	2,39	1,08
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	0,39	-	-	-
K <sub>2</sub> O	-	0,47	0,19	0,00	0,26	1,09	-
H <sub>2</sub> O	13,6	16,22*	17,91	18,00	20,01	18,40	18,78
Total	95,6	99,98	100,63	100,00	99,62	100,0	100,28

a- Mina San Martín, Valcheta, Río Negro.

b- Carilil, Rucachoroi, Neuquén.

c- La Granja, Sierras Chicas, Córdoba.

d- Paso del Córdoba, Neuquén.

e- Pío Proto, San Martín de los Andes, Neuquén.

f- Localidad tipo: Pedemonte, Suiza (Anthony, J. *et al.* 1995).

g- Teórico. Webmineral.

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.

FAUJASITA-Ca  
 $(\text{Na,Ca,Mg})_2 [(\text{Si,Al})_{12}\text{O}_{24}]\cdot n\text{H}_2\text{O}$   $Fd\bar{3}m$

*Ñorquínco-Pulmarí, Aluminé,  
 en provincia de Neuquén:*

Se originó por medio de la alteración de fenocristales de plagioclasa junto con albita, calcita, epidoto y prehnita. Es octaédrica, con clivaje perfecto según {111} e isotrópica. Fue analizada por EDS (Gallegos, E. *et al.* 2008).

GMELINITA-Ca  
 $(\text{Ca}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{Na})_7 [\text{Al}_7\text{Si}_{17}\text{O}_{48}]\cdot 23\text{H}_2\text{O}$   $P6_3mmc$

*Valle del río Alto Chubut, Río Negro:*

Se presenta como relleno de venas en brechas y tobos de la Serie Andesítica. La gmelinita s.l., con dudas, fue determinada por su hábito fibroso, sus características ópticas e índices de refracción (González Bonorino, F. 1944).

*Isla Jaime Ross, Antártida:*

Se describe en amígdalas de basaltos de edades que varían desde el Mioceno hasta el Holoceno. Los rellenos de las amígdalas han sido estudiados con técnicas petrográficas convencionales, MEB, DRX y análisis químicos por EDS. Todas las zeolitas están enriquecidas en Na. La chabazita rica en sodio se encuentra intercrecida con gmelinita y tapizan las paredes de las cavidades, acompañadas por analcima, thomsonita, phillipsita y calcita hacia el centro. La gmelinita forma cristales hexagonales, con bipirámides {h0hl}, pinacoide {0001} y prismas {1001}; de coloración blanca a incolora y translúcidos. Es característica la partición basal presente en todas las secciones prismáticas (Montenegro, T. 2013).

LA POTENCIALIDAD  
 TECNOLÓGICA  
 DE LOS YACIMIENTOS  
 DE ZEOLITAS NATURALES  
 EN ARGENTINA  
 NO HA SIDO ANALIZADA  
 DE FORMA INTEGRAL  
 Y COMPLETA, COMO  
 PARA TENER UNA IDEA  
 CONCRETA DE LOS  
 SECTORES QUE PUEDEN  
 SER EXPLOTADOS.

	a	b	c	d
SiO <sub>2</sub>	48,99	41,95	42,05	42,73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,39	22,58	23,01	21,61
CaO	1,49	1,31	1,64	0,81
Na <sub>2</sub> O	9,13	12,16	11,3	12,85
Total	78,00	78,00	78,00	78,00

a, b, c, d- Isla Jaime Ross, Antártida.

CONNARDITA-Na  
 $(\text{Na,Ca})_{6-8}[(\text{Si,Al})_{20}\text{O}_{40}]\cdot 12\text{H}_2\text{O}$  *I42d*

*Junín de los Andes, provincia de Neuquén:*

Se localiza en el centro de las amígdalas de basaltos, donde se describen especies zeolíticas aciculares, cuya longitud aproximada es de 1 cm, y están dispuestas en agregados cristalinos paralelos o radiados de natrolita/gonnardita sódica que presentan extinción recta, elongación negativa, color de birrefringencia ligeramente amarillento, a veces implantados en analcima. La gonnardita sódica fue identificada mediante EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2008).

	a
SiO <sub>2</sub>	47,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,23
CaO	6,05
Na <sub>2</sub> O	7,95
Total	88,00

a - Junín de los Andes, Neuquén.

HERSCHELITA -ver Chabazita- Na

HEULANDITA Ca  
 $(\text{Ca}_{0,5}\text{Na,K})_9[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}]\cdot 24\text{H}_2\text{O}$  *C2/m, o Cm*

Es la más común de las variedades de heulandita reportadas en Argentina. Se incluyen las menciones que presentan análisis químicos o descripciones de heulandita s.l.

*Mina Tres Picos, Junín de los Andes, provincia de Neuquén:*

Se ha encontrado en vesículas de una toba andesítica, que es la roca de caja de un depósito de caolín, y se considera producto de la actividad hidrotermal. Se presenta en cristales tabulares. Fue caracterizada por cristalografía, propiedades ópticas, DRX, ATD, IR y análisis químicos (Hayase, K. *et al.* 1974).

*Cantera Freyer, El Dorado, provincia de Misiones:*

La heulandita s.l. se focaliza en amígdalas de basaltos de la *Formación Serra Geral*, asociada a chabazita, estilbita, phillipsita, apofilita, calcedonia, ópalo, cuarzo y celadonita. Fue determinada por su morfología, propiedades ópticas, DRX y ATD (Latorre, C. y Vattuone, M.E. 1985).

LAS APLICACIONES DE LAS ZEOLITAS NATURALES DE ARGENTINA EN EL SECTOR AGRÍCOLA SON DE TIPO EXPERIMENTAL, Y AÚN NO HAN SIDO EMPLEADAS EN LA AGRICULTURA EXTENSIVA DE CULTIVOS DE GRANOS, COMO LA SOJA Y EL MAÍZ. SE PREVÉ QUE SU USO COMO SUSTRATOS EN VIVEROS PODRÍA SER DE MÁS AMPLIA DISTRIBUCIÓN EN EL PAÍS.

#### *Chapelco, provincia de Neuquén:*

Se encuentra en amígdalas de basaltos paleógenos y está asociada a mordenita y motmorillonita, así como en venas, vinculada a la motmorillonita. Fue caracterizada por su morfología, características ópticas, DRX y análisis químicos por EDS. Se incluye un análisis de la heulandita de las venas (Latorre, C. y Vattuone, M.E. 1990).

#### *Paso del Córdoba, provincia de Neuquén:*

Es producto del metamorfismo de muy bajo grado en volcanitas paleógenas. Se asocia a laumontita, yugawaralita, wairakita, estilbita, estellerita y chabazita. Fue determinada por su morfología, propiedades ópticas, DRX y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 1996a).

#### *Cerro Madre e Hija, provincia de Santa Cruz:*

La heulandita s.l. yace en venillas que se originaron durante la alteración hidrotermal de andesitas de la *Formación Bajo Pobre*, donde se asocia a estilbita y analcima. Fue determinada por su morfología y DRX (Aliotta, G. *et al.* 1996).

#### *Confluencia, provincia de Neuquén:*

Se encuentra como relleno de diaclasas en basaltos paleógenos, asociada a clinoptilolita, estilbita, estellerita, barrerita, paranatrolita, tetranatrolita y esmectitas. Los basaltos están afectados por metamorfismo de muy bajo grado que muestran también la presencia de yugawaralita, laumontita, wairakita, pumpellyita y pectolita. Está caracterizada por su morfología, propiedades ópticas, DRX y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2001a).

#### *Villa La Angostura, provincia de Neuquén:*

Se halla con estilbita rellenando fracturas en rocas volcánicas de la *Formación Montes de Oca* y en volcanitas paleógenas. Se determinó por sus características ópticas, DRX y análisis químicos por EDS (Depine, G. *et al.* 2003).

#### *Paso de Indios, provincia de Chubut:*

Se halla en amígdalas de basaltos de la *Formación Lonco Trapial*. Asociada a mordenita, esmectitas, celadonita, cuarzo y calcita. Fue determinada por su morfología, propiedades físicas y análisis químicos con microsonda electrónica (Massaferro, G. y Haller, M. 2004).

	a	b	c	d	e	f	g
SiO <sub>2</sub>	62,15	59,78	59,05	63,69	62,97	57,17	56,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,71	18,74	13,07	13,60	16,28	17,03	16,91
CaO	6,13	6,47	10,33	7,71	8,56	7,13	7,09
TiO <sub>2</sub>	-	-	0,19	-	-	-	-
MgO	0,90	0,00	0,48	0,00	0,06	0,02	0,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	0,21	-	0,04	0,04	-
Na <sub>2</sub> O	1,26	0,00	0,70	0,00	0,20	1,39	1,38
MnO	-	-	0,22	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	2,25	0,00	0,00	0,00	0,08	0,73	0,72
SrO	-	-	-	-	0,05	0,19	0,18
BaO	-	0,00	0,00	0,00	-	0,31	0,33
H <sub>2</sub> O	10,32	15,00*	16,00*	15,00*	-	16,71	16,59
Total	99,64	99,99	100,25	100,00	-	100,72	99,99

a- Mina Tres Picos, Junín de los Andes, Neuquén.

b- Chapelco, Neuquén.

c- Paso del Córdoba, Neuquén.

d- Confluencia, Neuquén.

e- Paso de Indios, Chubut.

f- Localidad tipo: Islas Faeroe (Anthony, J. *et al.* 1995).

g- Teórico. Webmineral.

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.



## LAUMONTITA



### *Confluencia ríos Totorá y Alumbra, Calingasta, provincia de San Juan:*

Se presenta en forma de venillas con fluorita, con color rosa-salmón y cristales de hasta 4 mm. Se determinó por sus propiedades físicas, índices de refracción y DRX (Brodtkorb, M. y Pezzutti, N. 1973).

### *Cerro Castillo, provincia de Santa Cruz:*

Se encuentra como reemplazo de plagioclasa. Es de hábito laminar, fibroso-radiado, color blanco a ligeramente rosado, posee clivaje bueno (010) y (110). Se midieron los índices de refracción y se estudió por DRX, espectrometría de IR y ATD (Cortezzi, C. y Musacchio, E. 1973).

### *Cantera Reducción, Villa Allende, provincia de Córdoba:*

La mineralización zeolítica aparece formando cristales incoloros de color salmón de hasta 8 mm, que cementan clastos de una anfíbolita. Está asociada a heulandita, analcima, calcita y estilbita. Se determinó su cristalografía e índices de refracción (Gay, H. y Galliski, M. 1976).

### *Rucachoroi, provincia de Neuquén:*

La mineralización forma fibras de hasta 3 mm de largo, como parte del relleno de venas en basaltos olivínicos terciarios. Está asociada a celadonita, natrolita, thomsonita y analcima. Las venas con laumontita son atravesadas por otras rellenas de estilbita, heulandita y calcita. La laumontita fue caracterizada por sus propiedades ópticas, medición de índices de refracción, DRX, ATD (DSC) y análisis químicos por EDS (Latorre, C. *et al.* 1990).

### *Cerro Chapelco, provincia de Neuquén:*

Se halla en amígdalas de basaltos paleógenos metamorizados así como en las venas que los atraviesan. Los cristales son de color blanco y alcanzan hasta 1 mm de largo. La laumontita está asociada a montmorillonita y heulandita, y en otros sectores a pumpellyita, wairakita, epidoto, interestratificados de esmectita/clorita y hematita. Se ha caracterizado por sus propiedades ópticas, DRX con determinación de parámetros de la celda unidad, ATD, ATG, IR, SEM y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. y Latorre, C. 1994).

### *Paso del Córdoba, provincia de Neuquén:*

Se halla dentro de las andesitas paleógenas con metamorfismo de muy bajo grado. Se asocia a wairakita, yugawaralita, heulandita, estilbita, estellerita y chabazita. Se encuentra en agregados cristalinos de color blanco a levemente rosado, de hábito acicular, con individuos de hasta 5 cm de longitud. Fue caracterizada por su cristalografía, propiedades ópticas, DRX, ATD, MEB y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 1996a).

### *El Molle, provincia de Chubut:*

Se presenta como cemento de brecha en diques andesíticos de probable edad Cretácico Superior. Se halla en cristales de 0,5 mm de longitud, asociados a yugawaralita, albita y prehnita. La paragénesis fue atribuida a un paleosistema geotermal. Se identificó por sus propiedades ópticas, DRX y análisis químicos con EDS (Vattuone, M.E. y Latorre, C. 1999).

**Villa La Angostura, provincia de Neuquén:**

Se presenta en agregados cristalinos finos de color anaranjado y hábito acicular, con individuos de hasta 4 mm de longitud, rellenando venas. Está asociada a clorita y epidoto. Fue caracterizada por sus propiedades ópticas, DRX, MEB y análisis químicos con EDS (Depine, G. *et al.* 2003). Un poco más al sur, en Rincón Chico,

cerca del brazo Huemul del Lago Nahuel Huapi, aparece laumontita en una basianandesita paleógena amigdaloidal, formando agregados cristalinos tabulares y aciculares asociados a pumpellyita y montmorillonita. Se identificó por sus propiedades ópticas y análisis químicos por EDS (Gargiulo, M. F. 2005).

	a	b	c	d	e	f	g
SiO <sub>2</sub>	52,72	52,68	54,93	53,29	54,91	54,91	55,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,87	18,27	18,94	17,12	20,13	20,03	19,08
CaO	9,37	12,33	10,83	13,60	9,96	9,79	10,46
Na <sub>2</sub> O	1,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	1,71	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	1,20
H <sub>2</sub> O	15,32	14,00	15,30	-	15,00	14	14
Total	100,22	98,96*	100,00*	-	100,00*	100,00*	100,00*

a- Rucachoroi, Neuquén.

b- Cerro Chapelco, Neuquén.

c- Paso del Córdoba, Neuquén.

d- El Molle, Chubut.

e, f, g- Villa la Angostura y Rincón Chico, Neuquén.

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.

#### LEVYNA

$(\text{Ca}_{0,5}\text{Na,K})_6[\text{Al}_6\text{Si}_{12}\text{O}_{36}] \sim 17\text{H}_2\text{O}$   $R3m$ ,  $C2/m$

#### *China Muerta, Catán Lil, provincia de Neuquén. Levyna s.l.:*

Se localiza en basaltos olivínicos, asociada a epistilbita y wairakita. Se encuentra en forma de cristales de hábito tabular delgado a fibroso-radiado. Fue caracterizada con índices de refracción y DRX (Cortelezzi, C. 1973).

#### MESOLITA

$\text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{Al}_6\text{Si}_9\text{O}_{30}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$   $Fddz$

#### *Lago Falkner, provincia de Neuquén:*

Aparece en venillas de pocos centímetros que atraviesan diques andesíticos, los cuales son intruidos a su vez por cuerpos granodioríticos que afloran cerca del lago. Se presenta en agregados cristalinos fibrosos de decenas de micrones de largo, asociados a estilbita. Se caracterizó por su hábito cristalino, maclas cruciformes, medición de índices de refracción, DRX con determinación de los parámetros de la celda unidad, ATG, IR y análisis químicos por vía húmeda (Mas, G. *et al.* 1990).

#### *Confluencia, provincia de Neuquén:*

Se encuentra en las amígdalas de los basaltos paleógenos, en paragénesis con escolecita y wairakita sódica, y acompañada ocasionalmente por heulandita y esmectitas. Se caracterizó por su hábito cristalino, propiedades ópticas, DRX, MEB y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2001a).

#### *Junín de los Andes, provincia de Neuquén:*

Forma rellenos de amígdalas en los basaltos. Se halla en agregados cristalinos fibroso-radiado divergentes, intercrecida con natrolita, thomsonita y escolecita. Los cristales tienen elongación positiva y extinción recta. Fue analizada por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2008).

	a	b	c	d	e
$\text{SiO}_2$	45,43	48,91	50,18	46,98	46,42
$\text{Al}_2\text{O}_3$	27,94	24,38	26,28	26,43	26,26
$\text{CaO}$	10,15	8,57	9,07	10,06	9,63
$\text{MgO}$	0,22	0,00	0,00	-	-
$\text{Na}_2\text{O}$	3,57	3,15	4,46	4,57	5,32
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,39	-	0,00	0,05	-
$\text{H}_2\text{O}$	12,74	13,99*	10	11,94	12,37
Total	100,44	99,35	100,00	100,00	100,00

a- Cercanías de Lago Falkner, Neuquén.

b- Balsa Maroma, Confluencia, Neuquén.

c- Junín de los Andes, Neuquén

d- Bombay, India (Anthony, J. *et al.* 1995).

e- Teórico. Webmineral.

\*  $\text{H}_2\text{O}$  por diferencia.

## MORDENITA

(Na<sub>2</sub>,Ca,K<sub>2</sub>)<sub>4</sub>[Al<sub>8</sub>Si<sub>40</sub>O<sub>96</sub>] · 28H<sub>2</sub>O Cmc21

### *Misiones:*

La mordenita yace en forma de relleno de amígdalas en basiandesitas amigdaloides. El revestimiento de las paredes de las vesículas es de clorita verde oscura, y en la parte central se forma mordenita fibrosa-radiada, de color rosado (Teruggi, M. 1952).

### *Malargüe, provincia de Mendoza:*

Es un producto de alteración hidrotermal de rocas basálticas que yacen en el área. Se identificó mordenita acompañada por clinoptilolita y heulandita, junto a cristobalita, cloritas y óxidos de Fe y de Mn. Se determinó por DRX (Morello, O. 1994).

### *Inmediaciones de Bajada Caracoles, Los Volcanes, provincia de Mendoza:*

La mineralización se originó a causa del reemplazo del material vítreo contenido en las tobas dacíticas del Terciario, correspondientes a la *Formación Huincán*, y está asociada con clinoptilolita subordinada y diferentes minerales del grupo de la sílice. La mordenita se encuentra formando agregados cristalinos esféricos de color blanco y de aspecto similar al algodón, con tamaños entre 25 µm y 100 µm de diámetro. Estas esferas están

integradas por individuos aciculares u hojosos de disposición radial. Se determinó por sus propiedades ópticas, por DRX, MEB y análisis químicos por EDS. También se realizaron análisis de intercambio catiónico a través del método por lotes, obteniéndose resultados de entre 160 y 190 meq/100g. Los valores de intercambio catiónico obtenidos para la mordenita, así como la yacencia de la asociación mineral, fue interpretada como producto de alteración hidrotermal de las tobas, principalmente a partir de aguas meteóricas (Bengochea, L. *et al.* 1997).

### *Chapelco, San Martín de los Andes, provincia de Neuquén:*

Se presenta en amígdalas de basaltos paleógenos, asociada a heulandita y esmectitas. Fue identificada por DRX, propiedades ópticas y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. y Latorre, C. 1996a).

### *Cerro Madre e Hija, provincia de Santa Cruz:*

La mena zeolítica se localiza en venillas formadas a causa de la alteración hidrotermal de andesitas de la *Formación Bajo Pobre*, asociada a calcedonia y calcita. Fue determinada por su morfología y DRX (Aliotta, G. *et al.* 1996).

LOS YACIMIENTOS DE ZEOLITAS NATURALES  
CON PROBADO POTENCIAL ECONÓMICO  
SON LOS QUE SE ENCUENTRAN EN EXPLOTACIÓN  
EN LA PROVINCIA DE LA RIOJA.

*Paso de Indios, provincia de Chubut:*

Se halla en amígdalas de basaltos de la *Formación Lonco Trapial*, asociada a heulandita, esmectitas, celadonita, cuarzo y calcita. Fue determinada por su morfología, DRX y análisis químicos con microsonda electrónica (Massaferro, G. y Haller, M. 2004).

	a	b	c	d
SiO <sub>2</sub>	72,04	70,64	69,82	67,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,56	8,86	12,42	12,83
CaO	2,33	5,48	3,75	3,21
BaO	-	-	0,04	-
MgO	-	0,00-	0,01	0,36
MnO	-	-	0,09	-
Na <sub>2</sub> O	10,83	0,00	2,34	3,90
K <sub>2</sub> O	1,24	0,00	0,82	0,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	0,13	-
SrO	-	-	0,34	-
H <sub>2</sub> O	-	-	10,24*	12,16
Total				100,00

a- Bajada Caracoles-Los Volcanes, Mendoza.

b- Chapelco, San Martín de los Andes, Neuquén.

c- Paso de Indios, Formación Lonco Trapial, Chubut.

d- Teórico. Webmineral.

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.

## NATROLITA



### *Naunauco, provincia de Neuquén:*

La natrolita se encuentra rellenando venillas que se originaron por la alteración hidrotermal de una andesita hipabisal que intruye a las sedimentitas marinas cretácicas del Grupo Mendoza. En el relleno de las venillas, los agregados de natrolita se apoyan en los cristales de analcima que tapizan las paredes de la cavidad, formándose posteriormente la calcita hacia el centro. También se halla como reemplazo de la plagioclasa de la andesita, en asociación con albita. Forma agregados cristalinicos aciculares radiados en forma de abanico o de estrella, con individuos de color rosado salmón. También se presenta en forma de cristales prismáticos pseudotetragonales de hasta 15 mm de largo. Se determinó a través de sus propiedades ópticas, DRX con parámetros de celda unidad rómbica, espectroscopía de infrarrojo (IR), análisis térmico diferenciales (ATD), termogravimétricos (ATG) y análisis químicos (Mas, G. y Bengochea, L. 1982).

### *Carilil, Rucachoroi, provincia de Neuquén:*

Rellenan fisuras en los basaltos de edad Mioceno que fueron afectados por el metamorfismo regional en la facies de las zeolitas. La natrolita se asocia a thomsonita y laumontita, acompañada por analcima, heulandita, estilbita y celadonita. Fue caracterizada por su morfología, propiedades ópticas, DRX, ATD (DSC) (Latorre, C. *et al.* 1990).

### *Cerro La Madera, provincia de Córdoba:*

Aparece en diques de pegmatoides foidíferos como fase tardía junto con phillipsita. Fue determinada por su morfología y DRX (Galliski, M. *et al.* 1992).

### *Cerro Madre e Hija, provincia de Santa Cruz:*

Se encuentra como alteración de plagioclasas en andesitas de la *Formación Bajo Pobre*, asociada a chabazita. Fue determinada por su morfología y propiedades ópticas (Aliotta, G. *et al.* 1996).

### *Cerro La Madera, provincia de Córdoba:*

La mineralización se concentra en amígdalas desarrolladas en volcanitas básicas nefelínicas. En la parte central de las amígdalas se forman sectores zonados rodeados de analcima. Fue caracterizada por sus propiedades físicas, ópticas, análisis químicos por EDS, MEB, DRX, ATG, ATD (DSC) e IR (Montenegro, T. y Quenardelle, S. 2000).

### *Junin de los Andes, provincia de Neuquén:*

Se encuentra en amígdalas de basaltos alcalinos. En el sector central, se hallan cristales de zeolitas aciculares cuya longitud aproximada es de 1 cm, y están dispuestos en agregados cristalinicos paralelos o radiados de natrolita/gonnardita sódica que presentan extinción recta, elongación negativa, color de birrefringencia ligeramente amarillento, a veces implantados en analcima. Los parámetros de celda obtenidos a partir de estudios por DRX indican que los cristales de natrolita poseen un 50% de desorden, lo que se atribuye a una estructura cercana a la variedad tetranatrolita/gonnardita sódica (Vattuone, M.E. *et al.* 2008).



**Secuencia basáltica Bajada del Diablo y Marra-Có, provincia de Chubut:**

Se encuentra rellenando amígdalas de basaltos alcalinos vesiculares. Los cristales de natrolita poseen formas prismáticas pseudotetraedrales, cuyos extremos se cierran mediante bipirámides, y

se hallan en equilibrio con cantidades subordinadas de sericita. Fue caracterizada por sus propiedades ópticas, análisis químicos por EDS y DRX (Leal, P. *et al.* 2016).

	a	b	c	d	e
SiO <sub>2</sub>	53,39	47,35	48,45	47,68	47,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,61	27,19	24,76	25,38	26,82
CaO	0,42	0,00	0,27	0,82	-
MgO	0,87	0,00	0,00	0,00	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,33	0,00	0,00	0,00	-
Na <sub>2</sub> O	11,97	15,46	16,52	16,11	16,30
K <sub>2</sub> O	0,52	0,00	0,00	0,00	0,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,00	0,00	0,00	-
H <sub>2</sub> O	8,50	10,00*	10,00*	10,00*	9,48
Total	100,6	100,00	100,00	100,00	100,00

a- Cerro La Madera, Córdoba.

b, c, d- Junín de los Andes, Neuquén.

e- Teórico. Webmineral.

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.

### OFFRETITA



#### *Río Arrayanes, Futalaufquen, provincia de Chubut:*

Aparece en amígdalas de basaltos de edad Jurásico junto con barrerita, cristobalita, baja albita, esmectitas y clinozoisita. Se caracterizó por sus propiedades ópticas, MEB, DRX, refinamiento de celda unidad y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. y Latorre, C. 2002a; Vattuone, M.E. *et al.* 2002).

	a	b
SiO <sub>2</sub>	53,33	52,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,76	18,24
Fe <sub>2</sub> Al <sub>3</sub>	3,11	-
CaO	1,10	4,24
MgO	3,90	1,94
Na <sub>2</sub> O	3,26	-
K <sub>2</sub> O	1,54	3,56
H <sub>2</sub> O		18,84
Total		99,60

a- Río Arrayanes, Futalaufquen, Chubut.

b- Teórico. Webmineral.

### PAULINGITA-Ca



#### *Junín de los Andes, provincia de Neuquén:*

Su yacencia es común en las amígdalas de los basaltos terciarios, donde aparece asociada con chabazita y con phillipsita Ca-K-Na. Fue identificada por DRX (con cálculo de parámetros de celda) y con análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2007b, 2008). De acuerdo al contenido de Ca presente en los cristales analizados, se los puede clasificar como paulingita-Ca.

	a	b	c	d
SiO <sub>2</sub>	52,40	52,89	52,42	54,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,91	17,57	17,68	16,12
CaO	6,77	6,68	6,77	6,08
BaO	-	-	-	0,45
K <sub>2</sub> O	4,92	4,86	5,12	3,69
Na <sub>2</sub> O	-	-	-	0,78
H <sub>2</sub> O	-	-	-	17,96

a, b, c- Junín de los Andes, Neuquén.

d- Paulingita-Ca teórico. Webmineral.

## PHILLIPSITA-K



### *Isla Decepción, Antártida:*

En las rocas de composición basáltica de esta región se han encontrado cristales de phillipsita alrededor de núcleos de vidrio (Salani, F. *et al.* 1990).

### *Cerro La Madera, provincia de Córdoba.*

#### *Phillipsita s.l.:*

Es muy común en los diques de pegmatoides foifíferos como fase tardía. La phillipsita s.l. se encuentra reemplazando a la nefelina. Está asociada a natrolita, analcima, piroxeno, apatita, perovskita, anfíbol, biotita, titanita y calcita. Fue determinada por cristalografía, propiedades físicas y DRX (Galliski, M. *et al.* 1992).

### *Isla Vega, Antártida:*

Se encuentra rellenando amígdalas de basaltos alcalinos terciarios pertenecientes al *Grupo Volcánico de la Isla Jaime Ross*, asociada a chabazita. Fue caracterizada por su morfología, presencia de maclas, propiedades óptica, DRX con parámetros de celda unidad, ATD (DSC), IR y análisis químicos por EDS (Massaferro, G. y Lagorio, S. 1994). Fue nombrada phillipsita por los autores, pero después de 1997, en que se aprobó la nueva nomenclatura para zeolitas (Coombs, D. 1997) por el predominio de K entre los cationes intercambiables, devino en phillipsita-K.

### *Cerro Madre e Hija, provincia de Santa Cruz:*

La mineralización de phillipsita s.l. se concentra en venillas, como producto de alteración hidrotermal de las andesitas de la *Formación Bajo Po-bre*, y se asocia a estilbita y calcita. Fue determinada por DRX (Aliotta, G. *et al.* 1996).

### *Junín de los Andes, provincia de Neuquén:*

Se encuentra en amígdalas de basaltos alcalinos, asociada a chabazita, analcima y paulingita. Se identificó por sus propiedades ópticas, por sus maclas en cruz, y por el ángulo 2V, que fue medido en varios ejemplares con una variación de 50° (-) a 70° (+). Se analizó por DRX con cálculo de parámetros de celda unidad y se realizaron análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2008).

### *Isla Jaime Ross, Antártida:*

Está en las amígdalas de los basaltos cuyas edades varían desde el Mioceno hasta el Holoceno. Los rellenos de las amígdalas han sido estudiados con técnicas petrográficas convencionales, DRX, MEB y análisis químicos por EDS. Todas las zeolitas están enriquecidas en Na. La phillipsita, de probable origen secundario, se desarrolla sobre los cristales de chabazita-gmelinita y analcima (Montenegro, T. 2013).

	a	b	c	d	e	f
SiO <sub>2</sub>	51,51	54,08	52,03	50,53	46,03	47,45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,81	18,52	18,04	19,15	21,43	21,68
CaO	3,20	0,94	6,90	8,01	5,73	8,52
Na <sub>2</sub> O	2,56	8,27	0,00	0,00	3,13	1,88
K <sub>2</sub> O	5,93	1,67	5,03	5,32	5,59	4,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	2,28	0,00	0,00	0,99	-
MgO	-	2,25	0,00	0,00	-	-
H <sub>2</sub> O	-	12	18,00*	17,00*	17,22	16,42
Total	83,01	100	100,00	100,00	100,12	100,24

a- Isla Vega, Antártida.

b- Isla Jaime Ross, Antártida.

c, d- Junín de los Andes, Neuquén.

e- Localidad tipo: Mazé, Japón (Anthony, J. *et al.* 1995).

f- Teórico. Webmineral.

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.

POLLUCITA  
 $\text{Cs}(\text{Si}_2\text{Al})\text{O}_6 \cdot n\text{H}_2\text{O} / a3d$

*Pegmatita granítica de Virorco,  
provincia de San Luis:*

Este mineral aparece como pequeñas inclusiones ( $< 20 \mu\text{m}$ ) en cristales relícticos de turmalina correspondientes a la zona de la pared de la pegmatita, o como pequeñas inclusiones en cristales prismáticos de berilo presentes en la zona intermedia de la pegmatita. Los cuerpos pegmatíticos tienen forma de diques subverticales de dirección  $\text{N}60^\circ\text{E}$ , con 1 a 10 cm de potencia, y atraviesan metanoritas y metagabros del *Complejo Pringles*, en las inmediaciones del río Virorco. Los cristales de pollucita y de las demás fases minerales presentes en la pegmatita, fueron determinados por análisis químicos con microsonda electrónica (Galliski. M. *et al.* 2012).

*Pegmatita Ángel, distrito Comechingones,  
provincia de Córdoba:*

La unidad de reemplazo de mayor importancia volumétrica de la pegmatita está integrada por albita prismática, cuarzo, muscovita (segunda generación) y elbaíta; en menor medida topacio, fluorapatita y lacroixita. Los minerales accesorios consisten en columbita-(Mn), circón hafnífero y pollucita. Esta última aparece como pequeños granos redondeados a ovalados de hasta  $30 \mu\text{m}$ , incluidos en cuarzo, y sus análisis químicos mediante microsonda electrónica indican contenidos máximos de  $\text{Cs}_2\text{O}$  y  $\text{Rb}_2\text{O}$  de 37,81% y 0,30%, respectivamente (Demartis, M. *et al.* 2014).

ESTELLERITA  
 $\text{Ca}(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 28\text{H}_2\text{O} Fmmm$

*Paso del Córdoba, provincia de Neuquén:*

Esta variedad de zeolita forma el relleno de las diaclasas desarrolladas en las volcanitas paleógenas, y está asociada a estilbita y esmectitas. Las volcanitas se encuentran afectadas por el metamorfismo de muy bajo grado, con contenidos de yugawaralita, laumontita, wairakita y heulandita. La estellerita fue determinada por sus propiedades ópticas, DRX y ATD (Vattuone, M.E. *et al.* 1996a).

*Pío Proto, San Martín de los Andes,  
provincia de Neuquén:*

Constituye el relleno de diaclasas en basaltos paleógenos afectados por metamorfismo de muy bajo grado. Se asocia a estilbita y heulandita en los afloramientos, en donde se ha detectado también la presencia de yugawaralita, laumontita, prehnita, pumpellyita, pectolita y esmectitas. Fue determinada a través de sus propiedades ópticas, por DRX y ATD (Vattuone, M.E. *et al.* 1999).

*Confluencia, provincia de Neuquén:*

Representa el relleno de diaclasas, y está asociada a estilbita, barrerita, tetranatrolita y esmectitas en basaltos paleógenos afectados por el metamorfismo de muy bajo grado. Aparece también wairakita, albita, adularia, pumpellyita, esmectitas y en menor cantidad yugawaralita, laumontita, heulandita y pectolita. Fue determinada por su morfología, propiedades ópticas, DRX y análisis químicos con EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2001a).

#### Aluminé, provincia de Neuquén:

La mineralización de zeolita forma el relleno de las fracturas que atraviesan las metavolcanitas de composición predominantemente mesosilícica. Los cristales de estellerita son menores que 5 mm de longitud, y de color anaranjado.

Al microscopio se observa clivaje según {010}, y algunos individuos poseen maclas cíclicas. Se determinó a partir de sus propiedades ópticas, DRX y análisis químicos por EDS (Buceta, M.G. *et al.* 2006).

	a	b	c
SiO <sub>2</sub>	54,33	59,15	59,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,21	14,21	14,47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,31	0,17	-
CaO	10,62	7,45	7,96
MgO	1,52	0,04	-
Na <sub>2</sub> O	0,00-	0,19	-
SrO	-	0,05	-
BaO	0,00-	0,02	-
K <sub>2</sub> O	0,00	0,23	-
H <sub>2</sub> O	18,01*	17,79	17,89
Total	100,00	99,30	100,00

a- Confluencia, Neuquén.

b- Villanova, Monte Leone, Cerdeña, Italia (Anthony, J. *et al.* 1995).

c- Teórico. Webmineral.

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.

THOMSONITA-Ca  
Ca<sub>2</sub>Na[Al<sub>5</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>20</sub>] 6H<sub>2</sub>O Pncn

*Rucachoroi, provincia de Neuquén:*

Se halla en venas y como alteración de plagioclasa en la pasta de basaltos olivínicos terciarios. Está asociada con celadonita, natrolita, laumontita y analcima. Es atravesada por venas de estilbita y heulandita. Presenta 2V variable desde 5° hasta 70° (-) y dispersión r>v fuerte. Fue caracterizada ópticamente, por DRX, ATD, DSC y análisis químicos por EDS (Latorre, C. *et al.* 1990).

*Ñorquinco-Pulmarí, Aluminé, provincia de Neuquén:*

Se asocia a phillipsita en los bordes de las amígdalas, y a esmectitas y epidoto que se formaron por la alteración de la pasta intersertal de los basaltos alcalinos de edad Mioceno. Es fibrosa, con clivaje perfecto según {010}, biáxica positiva con 2V cercano a 50°. Fue identificada por sus propiedades ópticas, DRX y análisis químicos por EDS (Galegos, E. *et al.* 2008).

*Junín de los Andes, provincia de Neuquén:*

Se localiza en las amígdalas de basaltos alcalinos, donde forma crecimiento epitáxico con natrolita y acompañada por mesolita y escasa escolecita. Posee hábito fibroso a acicular, en algunos casos tabular según {100}, alargado según “c”, con individuos dispuestos en forma paralela o en haces de hábito radiado divergente. Las morfologías halladas corresponden a {010}, {100} y {011}; tiene muy baja birrefringencia, extinción recta (sistema rómbico), 2V $\gamma$ =45° y dispersión r>v moderada.

En cuanto a la orientación óptica,  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  coinciden con los ejes cristalográficos b, c y a, respectivamente. Su estudio mediante DRX indicó una estructura ordenada. También fue analizada por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2008).

*Isla Jaime Ross, Antártida:*

En esta localidad, la mineralización se confina a las amígdalas de los basaltos con edades que varían desde el Mioceno hasta el Holoceno. Los rellenos de las amígdalas han sido estudiados con técnicas petrográficas convencionales, DRX, MEB y análisis químicos por EDS. Todas las zeolitas están enriquecidas en Na. En el caso específico de la chabazita, se describen intercrecimientos con gmelinita que tapizan las paredes de las cavidades, y están acompañadas por analcima, thomsonita, phillipsita y calcita hacia el centro (Montenegro, T. 2013).

*Diques de Colipilli, Localidad de Pichaihue, provincia de Neuquén:*

La thomsonita constituye el relleno de amígdalas de aproximadamente un centímetro de diámetro, en facies hipabisales que forman diques y lacolitos (unidad *Diques de Colipilli*). Presenta agregados radiales de color blanco y hábito fibroso, de aproximadamente 5 mm de largo. La paragénesis se determinó a partir de sus formas cristalográficas, propiedades ópticas, patrones de DRX y composición química por EDS (Mateo Fernández Caso *et al.* 2010).

	a	b	c	d	e	f
SiO <sub>2</sub>	48,96	43,94	42,89	42,87	48,08	37,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,27	19,07	19,39	19,64	27,54	31,60
CaO	11,03	2,35	2,42	3,06	10,84	13,91
Na <sub>2</sub> O	2,79	6,71	8,11	6,20	3,55	3,84
K <sub>2</sub> O	0,53	3,92	3,20	4,24	0,00	-
H <sub>2</sub> O	13,39*	24*	24*	24*	10*	13,40
Total	99,97	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

a- Rucachoroi, Neuquen.

b, c, d- Isla Jaime Ross, Antártida.

e- Junín de los Andes, Neuquén.

f- Teórico. Webmineral.

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.



## WAIRAKITA

$\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 2\text{H}_2\text{O} / 2/a$ , pseudocúbica

### *Cerro Chapelco, San Martín de los Andes, provincia de Neuquén:*

Se encuentra en los basaltos amigdaloides con brechamiento, asociada a laumontita, pumpellyita, epidoto e interestratificados de esmectita/clorita. Fue determinada por su morfología, propiedades ópticas, maclado y análisis químicos con EDS (Vattuone, M.E. y Latorre, C. 1996a).

### *Copahue, provincia de Neuquén:*

Se encuentra en las andesitas y andesitas basálticas interceptadas a 600 m de profundidad, durante los trabajos de sondeos llevados a cabo a 6 km al noreste del volcán Copahue. Se asocia a otras zeolitas cálcicas que varían según la profundidad. La wairakita coexiste con cuarzo, prehnita, epidoto y granate ugrandita. Se determinó por su morfología, características ópticas y DRX (Mas, G. *et al.* 1996).

### *Confluencia, provincia de Neuquén:*

Está yaciendo en amígdalas de basaltos, asociada a laumontita, esolecita, mesolita, heulandita, analcima y analcima cálcica. Fue caracterizada por su morfología, características ópticas, DRX y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2001a).

### *Paso del Córdoba, provincia de Neuquén:*

Se ubica en venas y en amígdalas con yugawaralita. Fue caracterizada por propiedades ópticas y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 1996a).

	a	b	c	d	e
$\text{SiO}_2$	57,78	56,12	60,16	55,90	55,33
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16,57	21,73	22,11	23,00	23,47
CaO	15,64	15,93	7,16	17,70	12,91
SrO	-	-	-	0,05	-
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	-	0,22	-	-	-
$\text{Na}_2\text{O}$	0,00	0,00	4,57	1,06	-
$\text{K}_2\text{O}$	0,00	0,00	0,00	0,16	-
$\text{Cs}_2\text{O}$	-	-	-	0,02	-
$\text{H}_2\text{O}$	10,0*	6,00*	6,00*	8,50	8,29
Total	99,99	100	100	100,4	100,00

a- Chapelco, Neuquén.

b, c- Confluencia, Neuquén.

d- Localidad tipo: Wairakei, Nueva Zelanda (Anthony, J. *et al.* 1995).

e- Teórico. Webmineral.

\*  $\text{H}_2\text{O}$  por diferencia.

## YUGAWARALITA

$\text{Ca}_2(\text{Al}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{32}) \cdot 8\text{H}_2\text{O} \text{ Pc}$

### Meliquina, provincia de Neuquén:

Se encuentra como reemplazo en la pasta de metabasaltos, cerca del lago Meliquina. Se asocia a wairakita, heulandita, esmectita/clorita y cuarzo. Está caracterizada por cristalografía, propiedades ópticas, MEB, DRX, ATD (DSC), ATG, IR y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. y Latorre, C. 1996b).

### Confluencia, provincia de Neuquén:

Aparece como relleno de amígdalas y como producto de reemplazo en la pasta de basaltos paleógenos. Se encuentra en paragénesis con la laumontita y la wairakita sódica. Fue caracterizada por su morfología, propiedades ópticas, DRX y análisis químicos con EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2001a).

### Cholila, provincia de Chubut:

Se halla en mesostasis y como cemento de brecha andesítica. Está asociada a wairakita, laumontita, pumpellyita, esmectita/clorita, albita, adularia, escaso epidoto y cuarzo. Fue caracterizada por su morfología, propiedades ópticas, MEB, DRX y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 2005).

### Paso del Córdoba, provincia de Neuquén:

Se localiza en venas y en amígdalas junto a la wairakita. Fue caracterizada por sus propiedades ópticas, DRX, ATD y análisis químicos por EDS (Vattuone, M.E. *et al.* 1996a).

	a	b	c	d	e
SiO <sub>2</sub>	57,52	61,84	58,93	57,94	61,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,27	18,22	18,50	17,65	17,26
MnO	0,20	-	-	-	-
MgO	0,62	0,00	0,00	0,86	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15	-	-	0,35	-
CaO	11,51	9,44	10,58	9,79	12,91
Na <sub>2</sub> O	0,29	0,00	0,00	0,38	-
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00-	0,00	0,41	-
TiO <sub>2</sub>	0,28	-	-	-	-
H <sub>2</sub> O+	13,00	10,50*	12,00*	10,70	12,20
H <sub>2</sub> O-	-	-	-	1,80	-
Total	100,84	100,00	100,00	99,88	100,00

a- Meliquina, Neuquén.

b- Confluencia, Neuquén.

c- Cholila, Chubut.

d- Localidad tipo: Yugawara, Hot Spring, Japón (Anthony, J. *et al.* 1995).

e- Teórico. Webmineral.

\* H<sub>2</sub>O por diferencia.



## LOCALIZACIÓN DE LOS YACIMIENTOS E INDICIOS

En esta sección se describen las características geológicas de las principales manifestaciones de zeolitas naturales en el territorio de la República Argentina, agrupados por provincias geopolíticas y en orden de importancia, de acuerdo a su potencialidad económica.

Al final de esta sección se presenta una tabla resumen donde se agrupan las ocurrencias de zeolitas naturales de la República Argentina (tabla 2).

Como ya se mencionó previamente, los depósitos más importantes de zeolitas en Argentina corresponden a los de tipo diagenético, concentrados principalmente en la faja litogenética ándica de *Depósitos de cuencas neógenas* y, en menor medida, en las fajas litogenéticas mesozoicas de *Depósitos del rift jurásico*, *Depósitos marinos y litorales del Cretácico-Terciario* y los *Depósitos continentales cretácicos*.

### PROVINCIA DE LA RIOJA

Las manifestaciones de zeolitas naturales de mayor importancia económica en la actualidad son de tipo estratiformes a estratoligadas, vinculadas a acumulaciones sedimentarias continentales del extremo sur de la cuenca de Pagancillo (figura 14), y corresponden a la faja litogenética ándica (*Depósitos de cuencas neógenas*).

Bodenbender (1911) fue el primer geólogo que reconoció estos depósitos sedimentarios en la provincia de La Rioja, y los denominó *Formación Los Llanos*, describiéndolos como un conjunto de conglomerados, areniscas, limolitas margosas, tobas y tufitas de coloraciones rojizas, grises y blanquecinas.

Los depósitos sinorogénicos acumulados en las cuencas de antepaís del segmento central de la región andina, son productos del ascenso de la Cordillera Frontal y de la deformación de la Precordillera. La cuenca de Pagancillo representa uno de estos depocentros y corresponde a la parte distal de la cuenca del Bermejo, de la que quedó desconectada cuando se produjo el ascenso de la Sierra de Valle Fértil, durante el Plioceno (Ramos, V. 1999).

Los afloramientos de tobas zeolitizadas forman parte de la secuencia sedimentaria del Plioceno Medio-Superior depositada en un ambiente continental intramontano, con posterioridad al alzamiento de las sierras de Los Llanos y Sañogasta-Vilgo (Limarino, O. *et al.* 1998).

Las tobas zeolitizadas se reconocen en un área delimitada entre los 30°10' y los 30°30' de latitud sur, y en los 67°10' y los 67°30' de longitud oeste; principalmente al este y oeste del cerro Yesero, en afloramientos mantiformes discontinuos, de buzamientos variables, en la localidad de Agua Blanca, El Médano y Represa El Mollar, así como en las canteras El Toba y El Diagueta (Carrizo, R., *et al.* 2006).

Agua Blanca es la zona de mejor potencialidad, con niveles de tobas zeolitizadas de 8 m de potencia que afloran a lo largo de 4,5 km. Los recursos estimados ascienden a 108.000 toneladas de tobas por cada 10 metros de manto (Carrizo, R. *et al.* 2006).

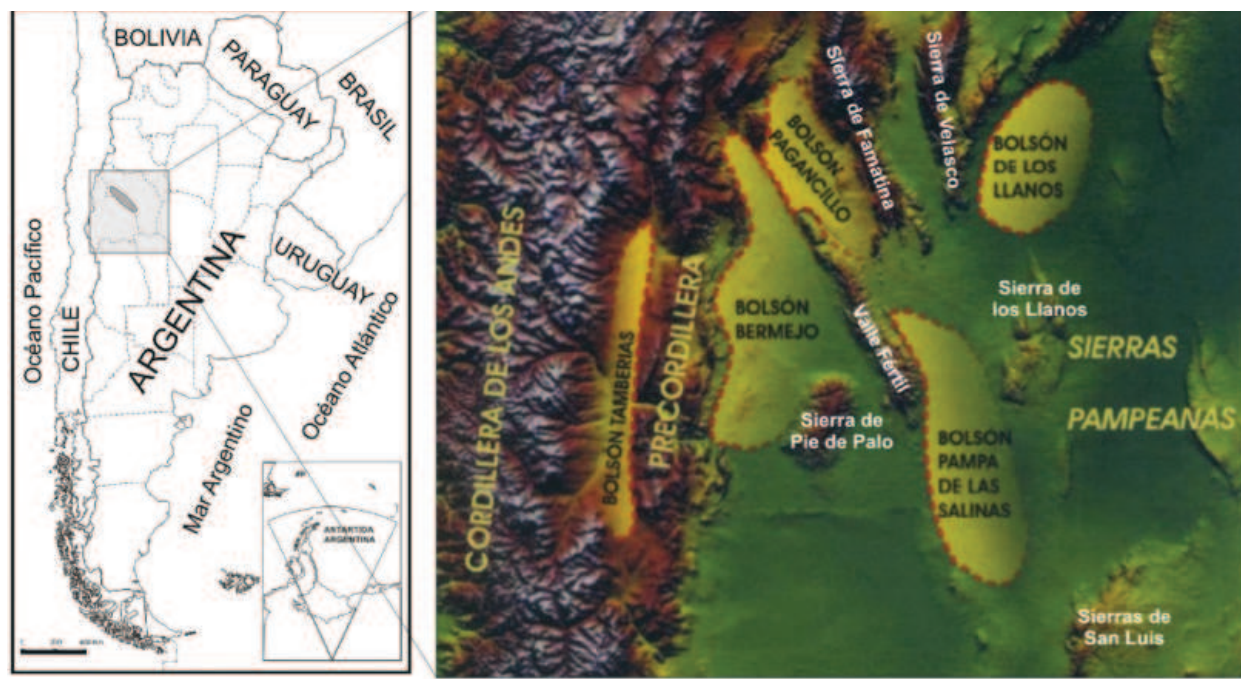


Figura 14. Localización de la cuenca de Pagancillo (modificado de Rosello *et al.* 2005).

En el área de la cantera El Toba-El Diaguita, las acumulaciones sedimentarias están representadas por una sucesión clástica dominada por limonitas arcillosas parcialmente calcáreas, de color pardo, castaño y grisáceo claro, en estratos tabulares, dispuestos en una estructura homoclinal, con rumbo general NNO-SSE e inclinaciones entre  $60^\circ$  y  $70^\circ$  al este. Intercalados en la sucesión, se observan niveles piroclásticos constituidos por tobas de caída finas a chonitas, groseramente re-trabajadas, de color blanquecino y espesores oscilantes entre unos pocos centímetros y un metro. Estos niveles piroclásticos son los portadores de la mineralización zeolítica (Agosto, F. *et al.* 2005), y están constituidos generalmente por un 80% de vidrio volcánico, de coloración castaña a incolora, y un 20% de fragmentos cristalinos (feldespatos, cuarzo y biotita), que permiten clasificar las rocas como tobas vitrocrystalinas (Álvarez, P. y Hernández, C. 1975).

La mineralización zeolítica se presenta en agregados de color blanco a verdoso claro, de tacto áspero y bien litificado, que posee baja proporción de cristaloclastos y litoclastos. El material zeolítico microcristalino y criptocristalino es variable. En algunos sectores la presencia de fase vítrea es más destacable, según las observaciones realizadas con el microscopio petrográfico; lo que indica variaciones locales tanto en la composición del precursor volcánico como en el proceso de su alteración. De acuerdo con los resultados de los análisis geoquímicos de roca total, realizados por Agosto, F. *et al.* (2005) en muestras pertenecientes a los niveles de tobas zeolitizadas y a las interpretaciones de estos resultados, el contenido de sílice (entre 60,69 y 62,74% en peso) indica que el material precursor está vinculado a un volcanismo mesosilícico. El contenido de hierro (expresado como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) varía entre 0,64 y 2,18% en peso, con un marcado predominio de los compuestos alcalinos ( $\text{Na}_2\text{O}$ , entre 6,43 y 1,94%, y  $\text{K}_2\text{O}$ , entre 1,53 y 1,13%); respecto a los alcalino-térreos ( $\text{CaO}$ , entre 0,42 y 3,73% y  $\text{MgO}$ , entre 0,55 y 1,05%). Asimismo, los valores superiores a 350 en la relación  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$ , y entre 0,2 y 1 para la relación  $\text{Nb}/\text{Y}$  en las muestras analizadas, indican un origen riolítico del magma original vinculado al material precursor, a partir del cual se formaron las zeolitas.

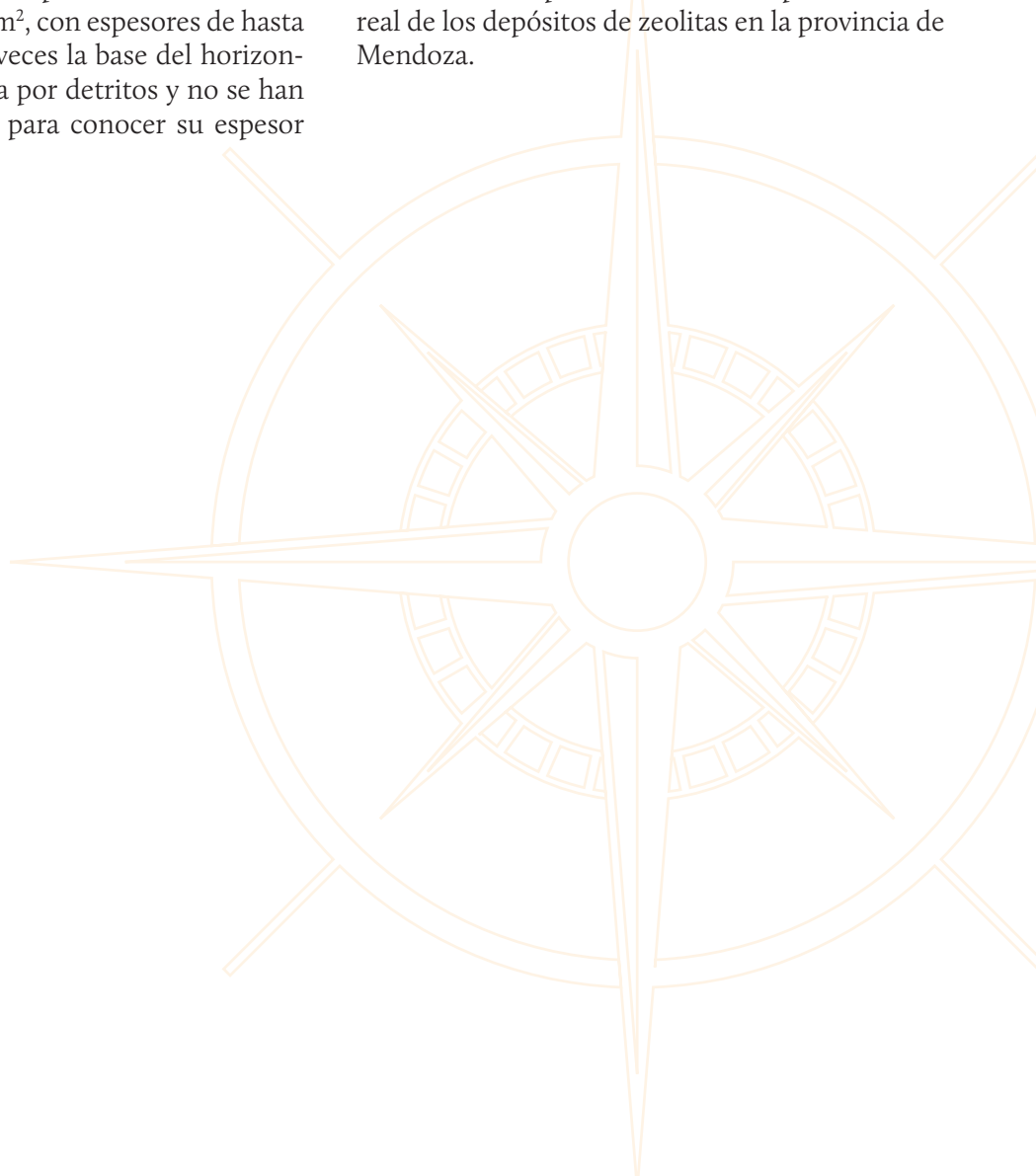
## PROVINCIA DE MENDOZA

Yussen (1935) describió analcima en el pozo 1 de YPF en la zona de Cacheuta, en areniscas y arcillas, mientras que Baldwin (1944) reportó la presencia de zeolita en tobas del Triásico Superior.

La primera mención acerca de manifestaciones de zeolitas en el sur de esta provincia, se refiere a la ocurrencia de mordenita, estudiada por Bengochea *et al.* (1997). Estos autores indican que el relieve del área de los afloramientos con zeolitas es suave. Allí están expuestas las areniscas cretácicas superpuestas por varias unidades eruptivas del Terciario, entre las que se encuentran niveles de tufitas dacíticas correspondientes a la *Formación Huincán*. En estos niveles de tufitas se destacan horizontes masivos de color blanco a verde pálido, prácticamente integrados por mordenita. Esta unidad casi monomineral puede ser reconocida en un área de unos 10 km<sup>2</sup>, con espesores de hasta 40 m; aunque muchas veces la base del horizonte zeolítico está cubierta por detritos y no se han realizado perforaciones para conocer su espesor máximo real.

El perfil vertical de esta sucesión está representado por tobas vítreas fuertemente soldadas. El vidrio volcánico está fresco, pero hacia la base, se encuentran reemplazos locales, caracterizados por la asociación de feldespato potásico, montmorillonita y ópalo. Por debajo inicia el nivel zeolitizado de unos 40 m de espesor, integrado por mordenita, y hacia la base del nivel aparece clinoptilolita y cristobalita junto con la mordenita. La superficie generada entre las tobas vítreas fuertemente soldadas y el nivel zeolitizado subyacente es relativamente neta, mientras que la base del nivel zeolitizado está cubierta (Bengochea, L. *et al.* 1997).

Más allá de esta contribución, no se conocen nuevos estudios de detalle publicados o informes técnicos de acceso público acerca de la potencialidad real de los depósitos de zeolitas en la provincia de Mendoza.





## SECTOR CENTRAL DE LAS PROVINCIAS DE CHUBUT Y SANTA CRUZ

En este sector se registran manifestaciones de zeolitas estratiformes y estratoligadas en diferentes niveles de las sedimentitas correspondientes a la cuenca del Golfo San Jorge-Cañadón Asfalto (figura 11), concentradas en la faja litogenética mesozoica *Depósitos del rift jurásico*.

Resulta interesante destacar que muchos de los indicios de este sector han sido descubiertos gracias a las perforaciones realizadas en los trabajos de exploración y explotación petrolífera de diferentes empresas. La primera mención sobre heulandita en Argentina fue realizada por Casanova (1931) en una muestra de arcilla extraída del pozo A1 de YPF, a 1.118 m de profundidad, en un sector de la Pampa de María Santísima, en la provincia de Chubut (Teruggi, M. E. y Andreis, R.R. 1963).

De acuerdo a la bibliografía existente, los niveles portadores de zeolitas fueron referidos a la *Formación La Matilde* (Jurásico Medio-Superior) del Grupo Bahía Laura, en la provincia de Santa Cruz, donde Andreis, R. e Iñiguez Rodríguez, A.M. (1968) mencionaron la presencia de clinoptilolita. La *Formación La Matilde* incluye extensos afloramientos de rocas esencialmente piroclásticas, de colores variados, desde blanquecino, pardo y amarillento hasta rojizo; están finamente estratificados y distribuidos en diferentes sectores de la provincia de Santa Cruz. Los sitios más destacados de esta formación son el Monumento Natural Bosques Petrificados, al noreste de la provincia, las zonas aledañas a las estancias Cerro

Alto-Bella Vista, el Bajo del Guanaco, los alrededores del cerro Botellón y el Gran Bajo de San Julián. Esta formación sedimentaria se caracteriza por un importante aporte piroclástico de tobas de caída, seguido por depósitos piroclásticos re-trabajados y retransportados por flujos poco diluidos (brechas matriz soportadas). Las características litológicas del tramo de interés muestran condiciones de sedimentación en un medio de baja energía con dominio de material piroclástico. Las estructuras sedimentarias preservadas indican un ambiente sedimentario continental subacuático de muy poca profundidad (lagunar), con escaso aporte de sedimentación epiclástica (De Barrio, R. *et al.* 1999).

En la provincia de Chubut, los niveles mineralizados corresponden a las sedimentitas cretácicas del Grupo Chubut, y pertenecen a la faja litogenética mesozoica (*Depósitos continentales cretácicos*).

La primera mención fue realizada por Stelzner (1885, en Iñiguez Rodríguez, A.M. *et al.* 1987), que describe analcima en tobas pardo-amarillentas de las márgenes del río Chubut. Posteriormente, numerosos trabajos documentaron la presencia de analcima, clinoptilolita, heulandita, natrolita y mordenita, vinculadas a los niveles de tobas y tobas arenosas del Grupo Chubut (Casanova, M., 1931; Mason, B. y Sand, L. 1960; Teruggi, M. 1962; Teruggi, M. y Andreis, R. 1963; Riggi, J. 1978; Iñiguez Rodríguez, A.M. *et al.* 1987; Iñiguez, A.M. y Zalba, P. 1993; Manassero, M. *et al.* 2000).

Las sedimentitas cretácicas del Grupo Chubut, están ampliamente distribuidas entre las localidades de Paso de Indios y Las Plumas, donde se identifican las dos formaciones que integran este grupo: la *Formación Los Adobes* y la *Formación Cerro Barcino*. En el sector estudiado por Iñiguez Rodríguez, A.M. *et al.* (1987), la *Formación Cerro Barcino* alcanza aproximadamente los 300 m de potencia.

Si bien Teruggi, M. (1962) y Teruggi, M. y Andreis, R. (1963) señalaron la importancia del hallazgo de zeolitas en las rocas del Grupo Chubut, es necesario remarcar que la distribución vertical del contenido y tipo de zeolita encontrado en los diferentes miembros de la *Formación Cerro Barcino*, ha permitido correlacionar las diferentes unidades de esta formación en varios sectores de la cuenca. En la base de la formación se encuentran los mayores contenidos en analcima, que disminuyen progresivamente hacia el techo, mientras aumenta el porcentaje de clinoptilolita. En el techo de la unidad formacional hay ausencia de ambas especies de zeolitas. Esta distribución de base a techo se repite regionalmente, permitiendo la correlación de los miembros en esta cuenca. Además, se pudo definir que el nivel de máximo desarrollo de clinoptilolita corresponde al miembro Las Plumas, de alrededor de 90 m de espesor (Iñiguez Rodríguez, A.M. *et al.* 1987). De esta manera, este miembro del Grupo Chubut representa un nivel guía para la prospección de clinoptilolita con gran potencial económico.

Con respecto al origen de las zeolitas presentes en las unidades del Grupo Chubut, Iñiguez Rodríguez, A.M. *et al.* (1987) atribuyen su formación a un proceso de alteración de los materiales piroclásticos depositados en ambientes lacustres salino-alcálinos que sufrieron diagénesis, dando lugar a la cristalización de analcima en profundidad.

Por otro lado, Riggi, J. (1978) describió niveles de zeolitas asociados a las sedimentitas depositadas en medios marinos someros, con aportes piroclásticos de la *Formación Patagonia* (Oligoceno-Mioceno) de la cuenca del Golfo San Jorge, en la provincia de Santa Cruz.

A pesar de que estos niveles de zeolitas tienen gran continuidad lateral y espesores variables que superan los 300 m, no ha sido posible su explotación por estar vinculados a una de las cuencas petrolíferas más importantes del país.

Recientemente, el SEGEMAR ha iniciado la prospección regional de zeolitas sedimentarias alojadas en las rocas del Grupo Chubut, a partir de la aplicación de imágenes ASTER y de espectrometría de reflectancia SWIR. Para ello, se ha seleccionado un área en el centro-sur de la provincia de Chubut, cerca del lago Musters, donde afloran tobas líticas y areniscas tufíticas de la *Formación Bajo Barreal* (Marquetti, C. *et al.* 2016).

Por otra parte, se encuentran los cuerpos alcalinos de edad Eoceno-Oligoceno que intruyen a las sedimentitas del Grupo Chubut, los cuales contienen zeolitas hidrotermales asociadas a la faja litogenética ándica (*Volcanitas e intrusivos de retroarco*).

Se trata de gabros, monzogabros con nefelina, sienitas y basaltos, cuya petrografía ha sido descrita por varios autores en diversas localidades del sector extraandino de las provincias de Chubut y Santa Cruz. En las cercanías de la localidad de Sarmiento se destacan las contribuciones de Mórtola, E. (1923); Teruggi, M. (1964); Viviers (1970); Villar, L. y Pezzutti, N. (1976); Pezzutti, N. y Villar, L. (1978) y Menegatti, N. *et al.* (2013 y 2014). En el norte de la Meseta de Canquel, en las cercanías de la localidad El Sombrero, son de interés los aportes de Lema, H. y Cortés, J.M. (1987); Anselmi, G. *et al.* (2000) y Alric, V. y Massaferro, G. (2017).

Al sur de la meseta de Somuncurá, entre las localidades de Gan Gan, Telsen y Las Plumas, hay estudios realizados por Ardolino, A. *et al.* (1995);

mientras que otras investigaciones en el área del cerro Romberg-Wenceslao, en la provincia de Santa Cruz, fueron llevadas a cabo por Chelotti, L. *et al.* (1996). Asimismo, Busteros, A. y Lapido, O. (1983) han descrito unidades similares en el ámbito de la Cordillera Patagónica Austral, en las cercanías de la localidad de Los Antiguos, en el margen sur del Lago Buenos Aires, en la provincia de Santa Cruz.

En la bibliografía, estas rocas han sido agrupadas bajo diferentes denominaciones, como *Formación El Canquel* (Lema, H. y Cortés, J.M. 1987), Complejo intrusivo-efusivo alcalino de edad Eoceno-Oligoceno (Panza, J.L. 1981), *Formación El Buitre* (Ardolino, A. y Franchi, M. 1993), Teschenita Jeinemeni (Escosteguy, L. *et al.* 2003) y Complejo Alcalino San Bernardo (Pezzuchi, H. y Fernández, M.I. 2001).

Los cuerpos intrusivos son de reducidas dimensiones y consisten en stocks, sills, lopolitos y diques, que acompañan las coladas y los *plateau* basálticos de extenso desarrollo areal en la región.

La geoquímica de estas rocas indica que derivan de magmas alcalinos de intraplaca, compatibles con una fuente de tipo OIB, con ausencia de contaminación con la placa subducida o cortical y relativamente bajos grados de fusión parcial (Menegatti, N.D. *et al.* 2014; Alric y Massaferro, G. 2017).

La zeolita presente en estas unidades es principalmente analcima. Se encuentra dispuesta de manera intersticial entre los demás componentes de la roca, o como reemplazo de plagioclasa o nefelina. También se distinguen agregados fibroso-radiados, a veces esferulíticos, de natrolita y thomsonita.

Según Echaurren, A. *et al.* (2016), entre los 41° y 44° S se identifican dos eventos compresivos que afectan a la faja plegada y corrida del norte de la Patagonia meridional: uno desde el Cretácico Inferior tardío hasta el Paleoceno, y otro a partir del Mioceno Medio. Ambos fueron atribuidos a una somerización de la placa subducida y están separados por un período de extensión en la zona del retroarco, con desarrollo de cuencas y de magma-

tismo de intraplaca, producto del empinamiento de la placa en proceso de subducción.

Los cuerpos intrusivos alcalinos de edad Eoceno-Oligoceno se asocian al volcanismo de retroarco que formó mesetas basálticas como las de Canquel, Somuncurá, Lago Buenos Aires, entre otras, y podrían corresponder a este evento. Sin embargo, aún faltan muchos estudios de detalle que permitan comprender y consensuar sus procesos de formación y configuración tectónica.

Asimismo, Orts, D. *et al.* (2015) identificaron una migración del magmatismo hacia el Macizo Nordpatagónico entre los 26-22 Ma., y un posterior empinamiento atribuido al desarrollo de volcanitas de intraplaca más jóvenes que 5 Ma., en la zona del retroarco. A este evento podrían atribuirse los cuerpos del Mioceno Superior-Plioceno como la Nefelinita del Cerro Malal, al sur de la meseta de Canquel (Panza, J. 1981), y la Teschenita Los Antiguos, en el sector cordillerano (Escosteguy, L. *et al.* 2003). No obstante, no se cuenta con muchos estudios de detalle para corroborar o descartar esta hipótesis.

## SECTOR EXTRAANDINO DE LAS PROVINCIAS DE NEUQUÉN Y RÍO NEGRO

En el ámbito de la Cuenca Neuquina (figura 11), y vinculados a los depósitos marinos cretácicos, se encuentran niveles de bentonitas que localmente pueden tener zeolitas asociadas; aunque estas no poseen concentraciones de importancia económica hasta el momento.

En el departamento de Añelo, provincia de Neuquén, los yacimientos de bentonitas están localizados en la sección media de la *Formación Allen*. Conforman una franja elongada en sentido nort-sur, expuesta en las laderas que bajan hacia el oeste en forma discontinua a lo largo de 25 km, desde Bajada del Palo hasta el sector El Caracol. Los mejores afloramientos se hallan en Puesto Rebolledo y El Caracol (Valles, J.M. e Impiccini, A. 1999).

En la provincia de Río Negro, los depósitos de bentonita se encuentran en el departamento General Roca, distribuidos en tres áreas. Dos de ellas, Lago Pellegrini y las inmediaciones de Río Colorado, presentan zeolitas como componentes acompañantes de montmorillonita (Valles, J.M. e Impiccini, A. 1999).

La *Formación Allen* integra el Grupo Malargüe y está compuesta por cuatro facies: la basal, integrada por conglomerados y areniscas arcósicas

de color gris amarillento, con fósiles de plantas y dinosaurios y potencia de hasta 19 m; fangolitas, de color gris a verde oliva, con bentonitas interestratificadas con lentes de areniscas finas de color claro, y con espesor variable entre 11 y 14 m; fangolitas de color verde oliva a gris amarillento, junto con calizas estromatíticas y clásticas, además de lentes de tobas claras y bentonita, con un espesor que oscila entre 11 y 16 m; por último, coronando la formación, aparecen los depósitos de yeso intercalados con calizas y fangolitas que alcanzan los 18 m de potencia (Valles, J.M. e Impiccini, A. 1999).

Las bentonitas de la *Formación Allen* se formaron por alteración del vidrio volcánico procedente de la zona andina occidental, que fue transportado en forma de cenizas hasta la zona de engolfamiento de la cuenca, donde se depositó en un ambiente áqueo, formando acumulaciones de gran extensión areal y escaso espesor. Lo abrupto del comienzo y fin de estos procesos se explica por el desarrollo de los episodios piroclásticos de corta duración, cuyo transporte eólico, a través de cientos de kilómetros, provocó una segregación y concentración de los elementos más livianos, como las cenizas vítreas (Impiccini 1995, Vallés e Impiccini 1999).

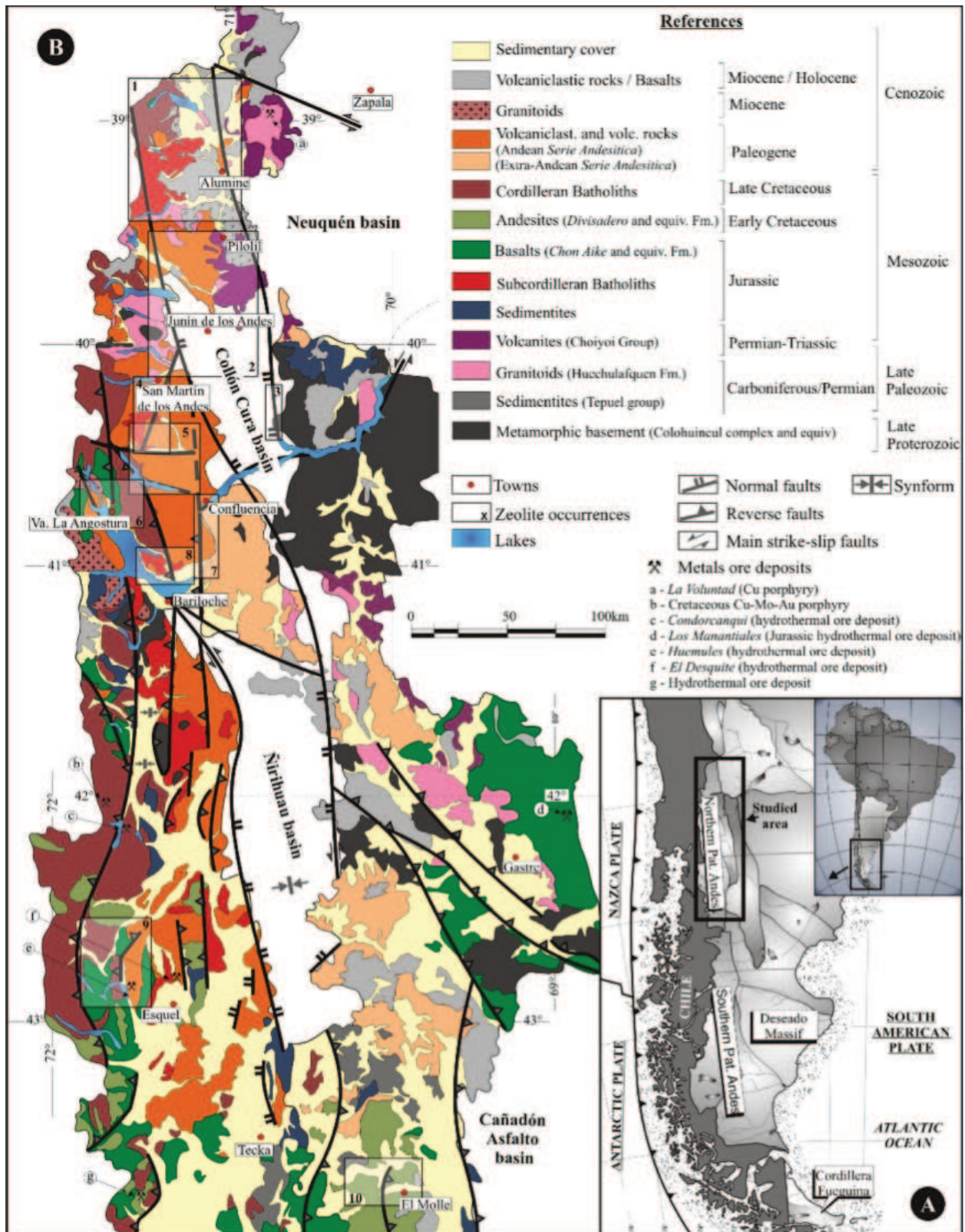
## SECTOR CORDILLERANO DE LAS PROVINCIAS DE NEUQUÉN, CHUBUT Y RÍO NEGRO

La diversidad de especies de zeolitas en diferentes localidades de los Andes Patagónicos Septentrionales (figura 15) permite estudiar la sistemática del grupo, ya que ofrece la mayor pluralidad, permitiendo conocer también los hábitos y relaciones texturales de las asociaciones con otros minerales que, en conjunto, brindan una valiosa información acerca de sus características mineralógicas y de sus condiciones de formación. Prueba de esto son las numerosas especies descritas y estudiadas por Vattuone, M.E. y Latorre, C. (1990, 1996 a, b, 1999, 2002a, b); Latorre, C. *et al.* (1990, 2000); Vattuone, M.E. *et al.* (1996a,b, 1999, 2001a,b,c, 2005, 2006a,b, 2008); Lagorio, S. *et al.* (2001); Vattuone, M.E. y Tourn, S. (2002); Depine, G. *et al.* (2003); Gargiulo, M.F. (2006); Gargiulo, M.F. y Vattuone, M.E. (2008); Buceta, M.G. *et al.* (2006); Gallegos, E. *et al.* (2008), entre otros, y la revisión posterior de Leal, P.R. *et al.* (2011).

Consisten en indicios vinculados a procesos de metamorfismo de muy bajo grado a hidrotermales, concentrados en la faja litogenética ándica *Volcanitas de arco magmático* y, esencialmente, alojados en rocas volcánicas de composición básica a intermedia, que se formaron durante el Mesozoico y el Cretácico.

Según Leal, P., *et al.* (2011), si bien las volcanitas jurásicas, cretácicas y terciarias presentan asociaciones de minerales de alteración, las tobas, los basaltos y las andesitas de edad Paleógeno, por su parte, son las litologías más afectadas. Corresponden a la denominada Serie Andesítica que agrupa a las formaciones *Auca Pan*, *Huitrera*, *Ventana* y *Nahuel Huapi*, y aflora principalmente en el norte de los Andes Patagónicos Septentrionales, en la provincia de Neuquén y Río Negro. Son de afinidad calcoalcalina (Dalla Salda, L. *et al.* 1981; Rapella, C. *et al.* 1984; Iannelli, S. *et al.* 2017) y presentan un rango de edades entre los 34 y los 19 Ma. (Bechis, F. *et al.* 2014).







El arco volcánico paleógeno de los Andes Patagónicos Septentrionales, entre los 39° y 42°30'S, está representado en dos cordones cuyas rocas muestran diferencias petrológicas y geoquímicas, y han evolucionado, en parte, discronicamente (Rapela, C. *et al.* 1988; Aragón, E. *et al.* 2011 y 2013). El cordón de Pilcaniyeu consiste en una serie bimodal de edad Paleógeno a Oligoceno que agrupa, por un lado, a las rocas de la *Formación Huitrera*, cuya impronta geoquímica varía de magmatismo de arco a magmatismo de intraplaca; y por otro, a las de la *Formación Auca Pán*, de edad Oligoceno, con características típicas de arco volcánico. El cordón El Maitén corresponde a las volcanitas basálticas y andesíticas calcoalcalinas de la *Formación Ventana*, de edad Eoceno a Mioceno Inferior, que afloran principalmente entre los 40° y 42° S. Iannelli, S. *et al.* (2017) propusieron que las diferencias composicionales y geoquímicas entre las rocas del arco paleógeno se deben a cambios en la configuración de la subducción, luego de la ruptura de la placa de Farallón a los 26-28 Ma. A partir de ese momento, la subducción de la placa de Nazca se vuelve más ortogonal y produce un magmatismo más característico del margen andino.

Estas rocas volcánicas presentan interestratificados de esmectitas/cloritas producto de la alteración del olivino; mientras que se forma albita, zeolitas y epidoto a partir de plagioclasa. Los minerales secundarios reemplazan a los primarios tanto en los fenocristales como en la pasta. Asimismo, se han observado diferentes asociaciones minerales rellenando cavidades y diaclasas.

**Figura 15.** Mapa geólogo-estructural de los Andes Patagónicos Septentrionales (Leal, P. *et al.* 2011).

Las rocas ígneas más antiguas de los Andes Patagónicos Septentrionales, donde se encontraron zeolitas, son las rocas volcánicas ubicadas en la provincia de Chubut, en el Parque Nacional Los Alerces, al este de los lagos Rivadavia, Menéndez y Futalaufquen, desde el sur de la localidad de Cholila, hasta las cercanías de Villa Futalaufquen, en la región comprendida entre los paralelos de 42°30' y 43° S. Estas rocas volcánicas con zeolitas fueron estudiadas por Vattuone, M.E *et al.* (2005) y corresponden, en su mayor parte, a la porción occidental de la Provincia ígnea Chon Aike (Kay, S. *et al.* 1989; Pankhurst, R. J. *et al.* 1998) (figura 12), homologable a las formaciones Lonco Trapial, Montes de Oca, Ibáñez, Lago La Plata y equivalentes. En discordancia, se encuentran las volcanitas calcoalcalinas de la *Formación Divisadero*, del Aptiano-Albiano, que son cubiertas por un plateau basáltico de intraplaca del Cretácico Superior (*Formación Tres Picos Prieto*).

A partir de la mineralogía y de las relaciones texturales analizadas en las rocas estudiadas por Vattuone, M.E. *et al.* (2005), se identificaron tres tipos de procesos metamórficos diferentes. Primeramente, un metamorfismo regional con zonación que alcanzó la facies de esquistos verdes, a unos 350°C y 2 kb, descendiendo luego a sub-esquistos verdes, en facies de pumpellyita-actinolita, prehnita-pumpellyita y zeolita (laumontita), que afectaron a las rocas volcanogénicas generadas en un ambiente extensional durante el Jurásico y el Cretácico Inferior. Posteriormente, el magmatismo del Cretácico Superior activa un sistema hidrotermal, que en las cercanías de la localidad de Cholila pudo haber desencadenado otro evento de metamorfismo de muy bajo grado, superpuesto al anterior. Así, se dieron las condiciones para el desarrollo de asociaciones geotermiales en la facies de las zeolitas con presiones del orden de 0,5 kb y unos 220°C, como lo demuestra especialmente el restringido rango de formación de la yugawaralita. Luego, a menores temperaturas, se produjo la entrada de nuevos fluidos más alcalinos a temperaturas probablemente inferiores a los 180°C, como se deduce del desarrollo de las especies de

zeolitas halladas y las esmectitas acompañantes, restringidas a las amígdalas de las rocas y venillas (Vattuone, M.E. *et al.* 2005).

Las secuencias situadas al este del Cerro Nahuel Pan, cerca de Esquel, provincia de Chubut, pertenecen a la *Formación Divisadero* y fueron datadas en  $105 \pm 5$  Ma. por el método de K/Ar sobre roca total (Vattuone, M.E. y Latorre, C., 2004). Están representadas por mantos lávicos de composición dacítico-andesítica, de colores verdosos en las fracturas frescas, y con pátina ocre cuando están alterados. Tienen entre 2 y 3 m de espesor y se presentan flanqueados por bancos de ignimbritas de color gris, con fragmentos líticos y *fiammes*. Este conjunto está cubierto, a su vez, por mantos lávicos que presentan brechamiento mecánico, con clastos de color verde, con pátina rojiza y minerales secundarios. El cemento de la brecha está constituido mayoritariamente por venas portadoras de carbonatos, minerales del grupo de la sílice y zeolitas tipo dachiardita (primera mención en América del Sur por Vattuone, M.E. y Latorre, C., 2002b; Vattuone, M.E. *et al.* 2006a) y mordeanita. Los mantos dacíticos-andesíticos se apoyan en discordancia angular sobre rocas volcánicas más antiguas de composición basáltico-andesíti-

ca, que en el sector estudiado, fueron datadas en  $252 \pm 10$  Ma. por el método K/Ar en roca total (Vattuone, M.E. y Latorre, C. 2004).

De acuerdo con Vattuone, M.E. *et al.* (2006a), las asociaciones minerales que acompañan a la dachiardita sugieren la existencia de cuatro etapas de metamorfismo de muy bajo grado, en orden decreciente de temperatura, de las cuales las etapas II y III corresponden a la facies de zeolita.

En menor proporción, existen indicios de tipo diagenético vinculados a niveles de tobas neógenas de la *Formación Ñirihuaú*, como los que describieron Spalletti, L.A. e Iñiguez Rodríguez, A.M. (1986) en las piroclastitas de Mallín Ahogado, en Cerro Otto, en Cerro Carbón, Ñorquincó, Río Azul y Cholila.

**Tabla 2.** Localidades donde yacen las principales manifestaciones de zeolitas naturales de la República Argentina, ordenadas por provincias geopolíticas y por fajas litogenéticas.

**TABLA 2.** LOCALIDADES DONDE YACEN LAS PRINCIPALES MANIFESTACIONES DE ZEOLITAS NATURALES DE LA REPÚBLICA ARGENTINA, ORDENADAS POR PROVINCIAS GEOPOLÍTICAS Y POR FAJAS LITOGÉNÉTICAS

LOCALIDADES	TIPO DE DEPÓSITO	ROCAS ENCAJANTES	FAJA LITOGÉNÉTICA	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
PROVINCIA DE MISIONES				
Cantera Freyer, El Dorado	Hidrotermal	Basaltos (F. Serra Geral)	Volcanitas del rift cretácico	Latorre, C. y Vattuone, M.E. (1985), Cortelezzi, C. <i>et al.</i> (1987)
PROVINCIA DE CORRIENTES				
Área Garruchos-Garabí (Río Uruguay)	Hidrotermal	Basaltos (F. Serra Geral)	Volcanitas del rift cretácico	Iñiguez Rodríguez, A.M. (1979)
PROVINCIA DE LA RIOJA				
Cantera El Toba-El Diaguita	Diagenético	Tobas (F. Los Llanos)	Depósitos de cuencas neógenas	Agosto, F. <i>et al.</i> (2005), Carrizo, R. <i>et al.</i> (2006)
Agua Blanca, El Médano, Represa El Mollar (Patquía-Paganzo)	Diagenético	Tobas (F. Los Llanos)	Depósitos de cuencas Neógenas	Carrizo, R. <i>et al.</i> (2006)
PROVINCIA DE SAN JUAN				
Río Blanco, Ullum	Hidrotermal	Pórfitos dacíticos miocenos	Volcanitas de arco	Lanzilotta, I. <i>et al.</i> (2002)
PROVINCIA DE SAN LUIS				
Río Virorco	Pegmatítico	Pegmatita granítica Virorco	Basamento ordovícico-silúrico	Galliski, M. <i>et al.</i> (2012)
PROVINCIA DE CÓRDOBA				
Cantera Reducción, Villa Allende	Hidrotermal	Brecha de anfíbolita	Basamento ordovícico-silúrico	Gay, H. y Galliski, M. (1976)
Comechingones	Pegmatítico	Pegmatita granítica Ángel	Basamento ordovícico-silúrico	Demartis, M. <i>et al.</i> (2014)
Cerro La Madera	Hidrotermal	Diques pegmatoides ijolíticos en un domo nefelinítico cretácico	Volcanitas del rift cretácico	Galliski, M. <i>et al.</i> (1992, 1996)
Cerro La Madera	Hidrotermal	Volcanitas básicas nefelínicas	Volcanitas del rift cretácico	Montenegro, T. y Quenardelle, S. (2000)
La Granja, Sierras Chicas	Hidrotermal	Areniscas rojas (Formación Saldán)	Volcanitas del rift cretácico	Piovano, E. <i>et al.</i> (1993)
Sierra de Los Cóndores	Hidrotermal	Traquitas alcalinas (Volcanitas Rumipalla)	Volcanitas del rift cretácico	Lagorio, S. y Montenegro, T. (1996)

LOCALIDADES	TIPO DE DEPÓSITO	ROCAS ENCAJANTES	FAJA LITOGÉNICA	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
PROVINCIA DE MENDOZA				
Malargüe	Hidrotermal	Basaltos	Volcanitas de arco	Morello, O. (1994)
Bajada Caracoles -Los Volcanes	Hidrotermal	Tobas dacíticas terciarias (F. Huincán)	Volcanitas de arco	Bengochea, L. <i>et al.</i> (1997)
Cerro Jarilloso, Llancanelo	Hidrotermal	Lapillitas y tobas de depósito hidroclástico cenozoico (Payunia)	Volcanitas de retroarco	Risso, C. <i>et al.</i> (2008), Di Tommaso, I. <i>et al.</i> (2011)
PROVINCIA DE NEUQUÉN				
Añelo	Diagenético	Niveles de bentonita (F. Allen)	Depósitos marinos y litorales del Cretácico-Terciario	Impicini, A. (1993, 1995), Valles, J. e Impicini, A. (1994 y 1996)
Cerro China Muerta, Catán Lil	Diagenético Hidrotermal	Sedimentitas y basaltos olivínicos	Volcanitas de arco	Di Paola, E.C. (1965), Cortelezzi, C. (1973), Cortelezzi, C. y Musacchio, E. (1973)
Mina Naunauco, Chos Malal	Hidrotermal	Andesitas que intruyen al Grupo Mendoza	Volcanitas de arco	Maiza, P. y Hayase, K. (1975), Mas, G. y Bengochea, L. (1982)
Alumine, Rucachoroi	Hidrotermal	Volcanitas jurásicas y cretácicas (F. Aluminé) y basaltos miocenos (F. Rancahue)	Volcanitas de arco	Latorre, C. <i>et al.</i> (1990), Vattuone, M.E. (1990); Vattuone, M.E. y Latorre, C. (1990); Latorre, C. y Vattuone, M.E. (1996); Vattuone, M.E. <i>et al.</i> (1996b); Lagorio, S. <i>et al.</i> (2001); Buceta, M.G. <i>et al.</i> (2006); Gallegos, E. <i>et al.</i> (2008).
Collón Cura	Hidrotermal	Basaltos del Oligoceno (F. Collón Cura)	Volcanitas de arco	Latorre, C. y Vattuone, M.E (1994b)
Mina Tres Picos, Junín de los Andes	Hidrotermal	Toba andesítica	Volcanitas de arco	Hayase, K. <i>et al.</i> (1974)
Pilo Lil, Junín de los Andes	Hidrotermal	Basaltos y andesitas del Mioceno (F. Chimehuin y equivalentes)	Volcanitas de arco	Vattuone, M.E. <i>et al.</i> (1999); Vattuone, M.E. <i>et al.</i> (2006a; 2007b; 2008)
Junín de los Andes	Hidrotermal	Basaltos y andesitas del Mioceno (F. Chimehuin y equivalentes)	Volcanitas de arco	Vattuone, M.E. <i>et al.</i> (1999); Vattuone, M.E. <i>et al.</i> (2006a; 2007b; 2008)
Pio Proto, San Martín de los Andes, Cerro Chapelco	Hidrotermal	Basaltos paleógenos (Serie Andesítica)	Volcanitas de arco	Latorre, C. y Vattuone, M.E. (1990), Vattuone, M.E. y Latorre, C. (1994); Vattuone, M.E. <i>et al.</i> (1997; 1999; 2001c); Vattuone, M.E y Tourn, S. (2002)

LOCALIDADES	TIPO DE DEPÓSITO	ROCAS ENCAJANTES	FAJA LITOGÉNICA	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
PROVINCIA DE NEUQUÉN (cont.)				
Lagos Falkner y Meliquina, Paso del Córdoba	Hidrotermal	Andesitas y tufitas paleógenas (Serie Andesítica)	Volcanitas de arco	Mas, G. <i>et al.</i> (1990) Latorre, C. y Vattuone, M.E. (1995); Vattuone, M.E. <i>et al.</i> (1996a)
Confluencia	Hidrotermal	Basaltos y andesitas terciarias (Serie Andesítica)	Volcanitas de arco	Vattuone, M.E. <i>et al.</i> (2001a,b, 2007a)
Villa La Angostura, Brazo Huemul	Hidrotermal	Basaltos jurásicos (F. Montes de Oca), granitoides cretácicos (F. Los Machis), basaltos y andesitas paleógenas (Serie Andesítica)	Volcanitas de arco	Latorre, C. y Vattuone, M.E (1994a); Leal (1999); Depine, G. <i>et al.</i> (2003); Gargiulo, M.F. (2005 y 2006); Gargiulo, M.F. y Vattuone, M.E (2008)
Localidad de Pichaihue	Hidrotermal	Intrusivos hipabisales (Diques de Colipilli)	Volcanitas de arco	Mateo Fernández Caso <i>et al.</i> (2010)
Volcán Copahue	Hidrotermal	Andesitas y andesitas basálticas	Volcanitas de arco	Mas, G. <i>et al.</i> (1996, 1999)
Manifestación Los Tachos, Cerro Domuyo	Hidrotermal	Tobas y aglomerados andesíticos eocenos (F. Invernada Vieja)	Volcanitas de arco	Cócola, M.A. <i>et al.</i> (2010)
PROVINCIA DE RÍO NEGRO				
Bajo del Ortiz (desembocadura del Ao. Pichi Picún Leufú)	Diagenético	Areniscas, limonitas, arcilitas, calizas jurásicas	Depósitos de rift jurásicos	Di Paola, E. C. (1965)
Mina La Alegría, Los Menucos	Hidrotermal	Riolita (F. Sierra Colorada)	Depósitos de rift jurásicos	Cortelezzi, C. (1966), Pén-dola, H. y Latorre, C. (1975)
Minas Boccadirio, Navidad 64, María Isabel Este, San Antonio	Hidrotermal	Pórfiro riolítico (F. Marifil)	Depósitos de rift jurásicos	Aliotta, G. (1999)
Lago Pellegrini	Diagenético	Piroclastitas con niveles de bentonita (F. Allen) y fangolitas de las formaciones Jagüel y Roca	Depósitos marinos y litorales del Cretácico-Terciario	Impicini (1993, 1995), Mus-so, T. <i>et al.</i> (2012)
Mallín Ahogado, Río Azul	Diagenético	Piroclastitas (F. Ñirihuau)	Depósitos de cuencas neógenas	Spalletti, L.A. e Iñiguez Rodríguez, A.M. (1986)
Cerro Otto, Cerro Carbón	Diagenético	Piroclastitas (F. Ñirihuau)	Depósitos de cuencas neógenas	Spalletti, L.A. e Iñiguez Rodríguez, A.M. (1986)
Ñorquincó	Diagenético	Piroclastitas (F. Ñirihuau)	Depósitos de cuen-cas neógenas	Spalletti, L.A. e Iñiguez Rodríguez, A.M. (1986)
Valle del río Alto Chubut	Hidrotermal	Andesitas, brechas andesíticas y tobas (Serie Andesítica)	Volcanitas de arco	González Bonorino, F. (1944)

LOCALIDADES	TIPO DE DEPÓSITO	ROCAS ENCAJANTES	FAJA LITOGÉNICA	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
PROVINCIA DE CHUBUT				
Cañadón Hondo	Diagenético	Arcillas bentoníticas (G. Sarmiento)	Depósitos marinos y litorales del Cretácico-Terciario	Mason, B. y Sand, S. (1960)
Cerro Melillán	Diagenético	Tobas (G. Chubut)	Depósitos continentales cretácicos	Vilela, C.R. (1952)
Río Senguerr	Diagenético	Tobas y areniscas (formaciones Bajo Barreal y Castillo del G. Chubut)	Depósitos continentales cretácicos	Teruggi, M. (1962)
Laguna Colorada	Diagenético	Tobas y chonitas de la F. Cerro Barcino (G. Chubut)	Depósitos continentales cretácicos	Fuente, A. y Gayone, M.R. (1999)
Gastre	Diagenético	Areniscas volcánicas clásticas (F. Angostura Colorada)	Depósitos continentales cretácicos	Zalba, P. <i>et al.</i> (2000)
Sarmiento	Diagenético	Toba riolítica de la F. Castillo (G. Chubut)	Depósitos continentales cretácicos	Zunino, J. <i>et al.</i> (2005)
Los Altares-Las Plumas	Diagenético	Tobas del Miembro Cerro Castaño, F. Cerro Barcino (G. Chubut)	Depósitos continentales cretácicos	Zalba, P. <i>et al.</i> (2011)
Cholila	Diagenético	Piroclastitas (F. Ñirihuau)	Depósitos de cuencas neógenas	Spalletti, L.A. e Iñiguez Rodríguez, A.M. (1986)
El Molle	Hidrotermal	Basaltos y diques andesíticos (F. Tres Picos Prieto)	Volcanitas de arco	Vattuone, M.E. y Latorre, C. (1999); Vattuone, M.E. <i>et al.</i> (2000b)
Futalaufquen, Cholila, Nahuel Pan	Hidrotermal	Volcanitas cretácicas (F. Divisadero)	Volcanitas de arco	Vattuone, M.E. <i>et al.</i> (2000a, 2002, 2005, 2006a); Vattuone, M.E. y Latorre, C. (2002a, b)
Paso de Indios	Hidrotermal	Andesitas jurásicas (F. Lonco Trapial)	Volcanitas de arcos	Massaferro, G. y Haller, M. (2004)
Sarmiento (cerros Los Leones, Solo, Negro, Cresta-Puricelli, entre otros)	Magmático, Hidrotermal	Sienitas nefelínicas, gabros, monzogabros con nefelina, basanitas, (Complejo Alcalino San Bernardo)	Volcanitas e intrusivos de retroarco	Teruggi, M. (1964), Viviers, M.C. (1970), Pezzutti, N.E. y Villar, L.M. (1978), Menegatti, N. <i>et al.</i> (2014)
Marra-Có	Hidrotermal	Basalto eoceno (Basalto Pilquiniyeu)	Volcanitas e intrusivos de retroarco	Leal, P. <i>et al.</i> (2016)

LOCALIDADES	TIPO DE DEPÓSITO	ROCAS ENCAJANTES	FAJA LITOGÉNICA	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
PROVINCIA DE SANTA CRUZ				
Anfiteatro Picó	Diagenético	Tobas (Formación La Matilde)	Depósitos de rift jurásicos	Andreis, R. e Iñiguez Rodríguez, A.M. (1968)
Cerro Castillo	Diagenético	Tobas jurásicas	Depósitos de rift jurásicos	Cortelezzi, C.R. y Mussachio, E.A. (1973)
Lote 18	Diagenético	Tobas y tufitas F. Bajo Grande (G. Bahía Laura)	Depósitos de rift jurásicos	Cravero, M.F. y Domínguez, E. (1993)
Cerro Madre e Hija	Hidrotermal	Andesitas y brechas andesíticas (Formación Bajo Pobre)	Depósitos de rift jurásicos	Aliotta, G. <i>et al.</i> (1996)
PROVINCIA DE TIERRA DEL FUEGO, ANTÁRTIDA E ISLAS DEL ATLÁNTICO SUR				
Isla Vega (Antártida)	Hidrotermal	Basaltos terciarios (Grupo Volcánico de la Isla Jaime Ross)	Volcanitas de arco	Massaferro, G. y Lagorio, S. (1994)
Isla Jaime Ross (Antártida)	Hidrotermal	Basaltos miocenos-holocenos (Grupo Volcánico de la Isla Jaime Ross)	Volcanitas de arco	Montenegro, T. (2013)



## MINERÍA

Actualmente, la minería de zeolitas en Argentina se está llevando a cabo en la provincia de La Rioja, en el Departamento Independencia, donde se localizan mineralizaciones estratiformes a estratoligadas vinculadas a las sedimentitas terciarias de la cuenca de Pagancillo. Se explotan principalmente a través de laboreos mineros a cielo abierto y, en menor medida, mediante galerías.

Se destacan la Mina Anita y las canteras El Toba-El Diaguita, enclavadas en las rocas de la *Formación Los Llanos*. Hay otros laboreos mineros en las localidades de Agua Blanca (figura 16), El Médano y la represa El Mollar, en las que predominan litotipos de la mencionada formación.

**Figura 16.** Niveles de tobas terciarias zeolitizadas de la Formación Los Llanos, pertenecientes al sector minero Agua Blanca (La Rioja) (imágenes tomadas de Carrizo, R. *et al.* 2006).

### *Mina Anita (localidad de Aguango, provincia de La Rioja):*

Pertenece a la empresa C.M.A. (Compañía Minera Argentina). Las zeolitas que se explotan y comercializan son de la especie clinoptilolita (figura 15).

La mina cuenta con beneficio de parrillado en cantera, y trabaja conjuntamente con el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), dentro del programa de remineralización de suelos.

### *Cantera El Toba-El Diaguita:*

Está situada 7 km al este de la localidad de Paganzo, provincia de La Rioja, en las cercanías a la ruta nacional N° 150. Su explotación está a cargo de la empresa Lir-Fer Construcciones S.R.L.



## EXPLOTACIÓN

Si bien son numerosos los sectores donde se ha identificado y reconocido la presencia de zeolitas, muchas de estas manifestaciones, en cambio, son de escaso volumen y baja ley, por estar vinculadas a rocas ígneas y metamórficas. Probablemente el factor que más afecta a estos recursos es la falta de una adecuada valoración de su potencialidad, provocado por la ausencia de estudios técnicos específicos.

En la actualidad, la explotación de las zeolitas naturales en la República Argentina no se desarrolla adecuadamente, ya que son pocos los yacimientos activos o cuya actividad pueda considerarse realmente sostenible. Entre estos yacimientos se hace mención a los relacionados con las sedimentitas terciarias de la cuenca de Pagancillo y su equivalente oriental en la provincia de San Juan, en las inmediaciones de la localidad de Usno (concesión de la Empresa C.M.A), y en la Sierra de Mogna, Departamento de Jachal, cuya concesionaria es la empresa E.M.S.A. (Explotaciones Mineras Sudamericanas S.R.L.).

Como ya se mencionó previamente en el apartado de Minería, la empresa C.M.A. es actualmente la encargada de la explotación de Mina Anita, en la localidad de Aguango; mientras que la empresa Lir-Fer Construcciones S.R.L. explota las canteras El Toba y El Diaguita, en la localidad de Paganzo. Ambas localidades pertenecen al Departamento Independencia de la provincia de La Rioja.

La ausencia de las zeolitas en la oferta de minerales industriales que proporciona el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), y por otro lado, la falta de registros de su explotación en minas y canteras del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) en los informes de los años 2008 y 2009, son claras evidencias de que la explotación de zeolitas no se ha desarrollado en todo su potencial. Asimismo, conforme al registro de las exportaciones de los años 2011 y 2012, también suministrado por el INDEC, no figura la exportación de zeolitas ni sus productos derivados. Sin embargo, la empresa C.M.A. informó sobre la exportación de clinoptilolita procedente de Mina Anita a Brasil, Perú, Uruguay y Bolivia, para diferentes usos.

En 2011, el SEGEMAR impulsó la explotación de zeolitas en la localidad de Paganzo, provincia de La Rioja, para su aplicación en la industria y en la actividad agropecuaria.

En este sentido, los diarios *El Inversor Energético y Minero*, *El Independiente* y *Nueva Rioja* de Agosto de 2011, publicaron que en la provincia de La Rioja está previsto optimizar la explotación de zeolitas para su empleo en la agricultura y en la industria química. Indicaron también el lanzamiento del proyecto Zeolita Utilización Sustentable (ZeUS), a cargo de la organización no gubernamental Centro Ambiental Argentino (CambiAr). Se trata de un proyecto abarcativo relacionado con la minería sustentable, que considera la zeolita como un mineral estratégico para el desarrollo de la provincia.

El emprendimiento plantea la necesidad de realizar una tipificación de los yacimientos de esta provincia, como paso previo a una serie de actividades relacionadas con diferentes propuestas inclusivas para las comunidades adyacentes a los yacimientos.

Asimismo, el proyecto ZeUS prevé la caracterización de los recursos de zeolitas disponibles con el aval del SEGEMAR, junto con la implementación de una evaluación estratégica del entorno ecológico y la instrumentación de los pertinentes estudios de impacto ambiental en las zonas productivas implicadas. También estipula la gestión de un yacimiento modelo con el aporte de una cooperativa minera local, e incluye actividades de investigación científica y desarrollo tecnológico junto con la Universidad Nacional de La Rioja (UNLaR), un plan de aplicación de la zeolita en el sector agrícola a cargo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), con la colaboración del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y el Ministerio de Defensa de la Unión de Naciones Suramericanas (UNASUR). En su etapa inicial, también incluye la colaboración internacional de instituciones científico-tecnológicas de Uruguay y Cuba.

## APLICACIONES DE LAS ZEOLITAS NATURALES EN ARGENTINA

A pesar de que la industria de las zeolitas naturales en Argentina está en sus etapas iniciales, las investigaciones están orientadas al desarrollo de productos para tres mercados distintos: 1) filtros o aditivos para tratamiento de gases o líquidos, 2) agroindustria y 3) otros usos industriales.

### Productos para filtros o aditivos para tratamiento de gases o líquidos:

Es el uso más difundido de las zeolitas que se explotan actualmente. Sin embargo, el potencial del material en producción es aún objeto de numerosas investigaciones orientadas a optimizar sus aplicaciones. Estos trabajos están dirigidos a favorecer el empleo de la materia prima zeolítica en la reducción de la concentración de contaminantes en aguas naturales, en efluentes industriales, en aguas residuales o en cualquier otro fluido susceptible de remediación, para disminuir su impacto en el medio ambiente. Muchos de estos ensayos aún se encuentran en fase experimental, sin embargo, prometen buenos resultados, especialmente los de absorción de zinc, cobre, arsénico y plomo en soluciones acuosas, gracias a la capacidad de intercambio catiónico de estos minerales.

Deben destacarse dos aplicaciones: por un lado, la remoción de arsénico mediante la capacidad de adsorción de las zeolitas, que es una de las líneas de desarrollo más prometedoras y necesarias debido al elevado contenido de este elemento en muchos acuíferos del país. La ingesta de aguas contaminadas por arsénico produce el *Hidroarsenismo Crónico Regional Endémico* (HACRE). En este sentido existen estudios sobre zeolitas modificadas (Ruggieri, F. *et al.* 2008; Camerotto Andreani, P. *et al.* 2014) y otros orientados a su uso

en estado natural, con resultados prometedores (Camerotto Andreani, P. *et al.* 2014). El material analizado procede de los yacimientos de San Juan y de los concentrados de zeolitas obtenidos en las explotaciones de la Cordillera Patagónica.

La otra aplicación de particular interés es la extracción de glifosato de los medios acuosos. El glifosato es un herbicida de amplio espectro, sistémico, postemergente, con fitotoxicidad sobre plantas anuales y perennes. Su utilización genera cantidades importantes de aguas residuales que representan un peligroso pasivo ambiental. Trinelli, M. (2011); Trinelli, M. *et al.* (2012) y Restuccia, S. *et al.* (2011) han obtenido resultados alentadores en la remediación utilizando la capacidad de adsorción de las zeolitas naturales.

### Productos para la agroindustria:

El Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) está llevando a cabo estudios de especies de zeolitas naturales para su aplicación en la agricultura y en la industria química, encaminados especialmente a aumentar la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados, y obtener altos rendimientos con menores dosis de nitrógeno (Soca, *et al.* 2004; Millán, G. *et al.* 2008). En este sentido, se ha observado que el aporte de nitrógeno con soporte de clinoptilolita permite aumentar la eficiencia del uso de fertilizantes nitrogenados, en comparación con la fertilización a base de urea que se aplica actualmente a escala extensiva (Millán, G. *et al.* 2008). Al mismo tiempo, el agregado de zeolitas no sólo permite mejorar la eficiencia de estos fertilizantes, sino que también reduce notablemente los niveles de nitrógeno residual que provocan la contaminación de los acuíferos (Civeira, G. y Rodríguez, M.B. 2011).

Otra de las aplicaciones de las zeolitas consiste en la adsorción de etileno en la agricultura (Munizza, G. *et al.* 2007). El etileno es responsable de la descomposición de pigmentos clorofílicos, la caída de hojas y la maduración de los frutos. Los resultados de la adsorción de etileno son prometedores especialmente cuando se emplea la clinoptilolita modificada con potasio, extraída de los yacimientos de Mendoza (Munizza, G. *et al.* 2007).

El potencial uso de zeolitas naturales como catalizadores de rocas fosfáticas poco reactivas aún se encuentra en desarrollo. Con esta aplicación, menos conocida en el campo de la agronomía, se demostró que la mezcla de rocas fosfáticas y zeolitas naturales de los yacimientos de la provincia de La Rioja mejora la efectividad del fosfato natural en la agricultura, así como la recuperación del fósforo por el raigrás (Torres Duggan, M. *et al.* 2016, Torres Duggan, M. 2017).

Más recientemente, se están desarrollando trabajos orientados al uso de las zeolitas junto con residuos orgánicos de *feed lot*, como recurso sumamente valioso para la mejora de la fertilidad del suelo y el aporte de nutrientes. Las mezclas de zeolitas y *feed lot* constituyen enmiendas órgano-zeolíticas con gran potencial de aplicación en el ámbito local, si se tiene en cuenta la disponibilidad de sus yacimientos y la creciente generación de estiércoles y efluentes derivados de los sistemas intensivos de producción. La aplicación de estas mezclas constituye una herramienta muy efectiva para mejorar la retención y disponibilidad de agua para las plantas (Torres Duggan, M. *et al.* 2017; Torres Duggan, M. 2017).

#### Otros usos industriales en etapa de desarrollo:

Las zeolitas naturales de Argentina son empleadas como aditivos en la fabricación de pinturas para cielo raso (Zalba, P. *et al.* 2003, 2009), donde sus prestaciones se ven incrementadas debido a su capacidad de absorción. Zalva, P. *et al.* (2009) probaron que las pinturas con agregado de clinoptilolita incrementan su capacidad de absorción de humedad y gases de amoníaco.

Numerosos investigadores estudian el uso de las zeolitas como aditivos aglomerantes para concretos. Bonavetti, V. *et al.* (2016) lograron elaborar una mezcla cementicia compuesta por concreto y mordenita que requiere mayor volumen de agua y registra reacciones puzolánicas con la cal, con la formación de productos estables y prácticamente insolubles.

Estudios similares fueron realizados por Raggiotti *et al.* (2015) y Locati *et al.* (2015), quienes emplearon zeolitas de la serie clinoptilolita-heulandita de La Rioja para la fabricación de concreto. Según sus resultados, el empleo de estas zeolitas mejora las propiedades estructurales del concreto, a la vez que permite reducir la cantidad de cemento e inhibe las reacciones álcali-sílice (ASR).

Finalmente, es importante resaltar que las zeolitas naturales utilizadas para los diferentes ensayos son de la variedad clinoptilolita, procedente de Paganzo y Anguango (provincia de La Rioja), de Usno (provincia de San Juan) y de San Rafael (provincia de Mendoza). En cambio, la zeolita de tipo stilbita yace en las inmediaciones de Cerro Cándor-Gastre, en la provincia de Chubut.

## PERSPECTIVAS DEL MERCADO DE LAS ZEOLITAS NATURALES EN ARGENTINA

La potencialidad tecnológica de estos recursos en Argentina no ha sido analizada de forma integral y completa, como para tener una idea concreta de los sectores que pueden ser explotados.

Por el momento, los yacimientos con probado potencial económico son los que se encuentran en explotación en la provincia de La Rioja. Estos recursos fueron analizados mediante diferentes ensayos físicos y químicos, y se evaluaron sus propiedades estructurales, térmicas, sorbitivas y de intercambio catiónico. La homogeneidad del mineral en los diferentes yacimientos y manifestaciones, además del tipo microestructural que determina la selectividad de cationes grandes, ha permitido poner en marcha varios proyectos experimentales para la aplicación de las zeolitas en procesos dirigidos a la preservación del medio ambiente, así como a la reposición de suelos empobrecidos por el uso intensivo de fertilizantes portadores de nitrógeno, potasio y otros nutrientes (Agosto, F. *et al.* 2005).

También se han mencionado yacimientos de zeolitas naturales en el norte de la provincia de Mendoza (Munizza *et al.* 2007) y en la provincia de Salta (Civeira, G. INTA Com. Pers), destinadas a estudios experimentales, fundamentalmente de tipo agrícola, para la mejora de la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados, la retención de agua en el suelo o como sustratos para viveros y plantas ornamentales.

Las aplicaciones de las zeolitas naturales de Argentina en el sector agrícola son de tipo experi-

mental, y aún no han sido empleadas en la agricultura extensiva de cultivos de granos, como la soja y el maíz. Aunque pudiesen ser aplicadas con presumible éxito en el desarrollo de actividades agropecuarias, se prevé que su uso como sustratos en viveros podría ser de más amplia distribución en el país. Sin embargo, en la actualidad estas aplicaciones son incipientes, y su estudio se lleva a cabo mediante proyectos de investigación desarrollados por el INTA, el INTI, la Universidad Nacional de La Plata, la Universidad de Buenos Aires, el SEGEMAR y las empresas DIATEC S.A., C.M.A. (Compañía Minera Argentina) y E.M.S.A. Explotaciones Mineras Sudamericanas S.R.L.

Las manifestaciones de zeolitas en las demás provincias de la República Argentina no se encuentran en explotación, y su potencial está aún en estudio. Sin embargo, se pueden pronosticar buenas perspectivas para el futuro, una vez que sean implementadas de manera más intensiva para diferentes y variados usos.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Lic. José Luis Parra, de la Compañía Minera Argentina (C.M.A.); al Lic. Alejandro Fernández y a la Lic. Eva Donnari, del SEGEMAR; a la Lic. María Cecilia Ubaldón, del SEGEMAR, Delegación Esquel; a la Dra. Patricia Zalba, de la Universidad Nacional de La Plata; al Lic. Claudio Iglesias, de la Empresa Piedra Grande S.A.; a la Dra. Silvina Marfil, de la Universidad Nacional del Sur, y a la Ing. Gabriela Civeira, del INTA, por brindarnos amablemente toda la información solicitada.



## BIBLIOGRAFÍA

- Agosto, F., Canafoglia, M. E., de Barrio, R., Cabello, C., Schalamuk, I., Minelli, G. y Botto, I. L. (2005). Depósitos tobáceos terciarios zeolitizados del área de Paganzo (Provincia de La Rioja). Su potencialidad tecnológica. *16° Congreso Geológico Argentino*, Actas: 847-854. La Plata, Argentina.
- Aliotta, G. (1999). Yacimientos de fluorita de Río Negro y Chubut. Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), *Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR*, Anales 35: 1239-1247, Buenos Aires.
- Aliotta, G., Garrido, M., Gómez, C. y Luna, L. (1996). Estudio de ceolitas de la zona de "Madre e Hija" (Santa Cruz). *III Reunión de Mineralogía y Metalogenia*. Instituto de Recursos Minerales, UNLP. Publicación 5: 9-16.
- Alric, V. y Massafiero, G. (2017). Edad y naturaleza del magmatismo básico eoceno de los alrededores de la Meseta del Canquel. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 74(2). 274-282.
- Álvarez, P.P. (1996). Bioestratigrafía del Jurásico Inferior de la Cuenca de La Ramada, Alta Cordillera de San Juan (Argentina). *Revista Española de Paleontología*, 11 (1): 35-47.
- Álvarez, P. y Hernández, C. (1975). Yacimientos de tobas volcánicas en el Dpto. Independencia, pedanía Iglesia: canteras El Toba y El Diaguita, La Rioja. *Dirección Provincial de Minería de La Rioja*. Informes Inéditos N° 252 y 1285.
- Andreis, R. e Iñiguez Rodríguez, A.M. (1968). Clinoptilolita de la Formación La Matilde (Jurásico Superior) Provincia de Santa Cruz. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie), Sección Geología. Tomo VI*: 221-234.
- Anselmi, G., Panza, J., Cortés, J y Ragona, D. (2000). Hoja Geológica 4569-II El Sombrero, Provincia del Chubut. *Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino*. Buenos Aires, Argentina. Boletín 271, 70 pp.
- Anthony J.W., Bideaux R.A., Bladh K.W. y Nichols M.C., (1995). *Handbook of Mineralogy*. Volume II: Silicates, Mineral Data Publishing. Tucson, Arizona, EEUU.
- Aragón, E., D'Eramo, F., Castro, A., Pinotti, L., Brunelli, D., Rabbia, O., Rivalenti, G., Varela, R., Spakman, W., Demartis, M., Cavarozzi, C.E., Aguilera, Y.E., Mazzucchelli, M. y Ribot, A. (2011). Tectono-magmatic response to major convergence changes in the North Patagonian suprasubduction system; the Paleogene subduction-transcurrent plate margin transition. *Tectonophysics*, 509: 218-237.
- Aragón, E., Pinotti, L., D'Eramo, F., Castro, A., Rabbia, O., Coniglio, J., Demartis, M., Hernando, I., Cavarozzi, C.E. y Aguilera, Y.E. (2013). The Farallon-Aluk ridge collision with South America: implications for the geochemical changes of slab window magmas from fore- to back-arc. *Geosciences Frontieres*, 4, 377-388.
- Ardolino, A. y Franchi, M. (1993). El volcanismo cenozoico de la Meseta de Somún Curá, provincias de Río Negro y Chubut. *12° Congreso Geológico Argentino*, Actas 4: 225-235, Mendoza.
- Ardolino, A., Busteros, A., Cucchi, R., Franchi, M., Lema, H. y Remesal, M. (1995). Cuerpos alcalinos básicos paleógenos del sur de Somún Curá (Argentina) y su marco estratigráfico. *Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial N° 3*: 7-22. Buenos Aires.

Baldwin, J.L. (1944). Tupungato oil field, Mendoza, Argentina. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 28: 1455-1484.

Bechis, F., Encinas, A., Concheyro, A., Litvak, V.D., Aguirre-Urreta, B., Ramos, V.A., (2014). New age constraints for the Cenozoic marine transgressions of northwestern Patagonia, Argentina (41–43 S): paleogeographic and tectonic implications. *Journal of South American Earth Science*, 52, 72–93.

Beltrando, M., Hermann, J., Lister, G. y Compagnoni, R. (2007). On the evolution of orogens: Pressure cycles and deformation mode switches. *Earth and planetary Sciences Letters*, 256: 372-388.

Bengochea, L., Mas, G., Maiza, P. J. y Bengochea, J. D. (1997). Mordenite occurrence in the Mendoza Province, Argentina. 5th International Conference on the Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites. Naples, Italy. *Book of Abstracts*: 63-64.

Bodenbender, G. (1911). Constitución geológica de la parte meridional de La Rioja y regiones limítrofes, República Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias*. 19: 5-220.

Boekhout, F., Spikings, R., Sempere, T., Chiaradia, M., Ulianov, A. y Schaltegger, U. (2012). Mesozoic arc magmatism along the southern Peruvian margin during Gondwana breakup and dispersal. *Lithos*, 146: 48-64.

Bonavetti V., Rahhal V., Locati F., Irassar F., Marfil S., Maiza P. (2016). Utilización de ceolitas naturales como puzolanas. *7° Congreso Internacional y 21° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Técnica del Hormigón*, Acta: 481-487.

Brodtkorb, M. y Pezzutti, N. (1973). Hallazgo de laumontita en la asociación fluorita-zeolita. *5° Congreso Geológico Argentino*, 1: 85-89.

Brodtkorb, M., Vattuone, M.E, Pezzutti, N., Latorre, C. y Morello, O. (2007). Las Especies Minerales de la República Argentina. Tomo III, Clase 9: Silicatos, 9.G.: Tectosilicatos con H<sub>2</sub>O zeolítica, Familia Zeolitas: 111-141, *Asociación Mineralógica Argentina, Buenos Aires, Argentina*.

Buceta, M.G., Vattuone, M.E, y Latorre, C. (2006). Hallazgo de estellerita en rocas de la Serie Andesítica, en las cercanías de la localidad de Aluminé, Neuquén. *8° Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Buenos Aires, Argentina*. 43-46.

Busteros, A.G. y Lapido, O. (1983). Rocas Básicas en la vertiente noroccidental de la meseta del lago Buenos Aires, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 38: 427-436.

Carrizo, R., Donnari, E., Marcos, O. y Prieri, A. (2006). Potencial Geológico-Minero de Ceolitas Sedimentarias en el Distrito Paganzo. Provincia de La Rioja, República Argentina. Serie Contribuciones Técnicas Recursos Minerales. *Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires, Argentina*. N°29. 34pp.

Casanova, M. (1931). Apuntes petrográficos sobre los terrenos atravesados por los pozos de Comodoro Rivadavia y sus alrededores. *1° Reunión Nacional de Geografía (YPF)*. Buenos Aires, Argentina. 39 pp.

Camerotto Andreani, P.A., Leal, P.R., Rodríguez, A.V., Rodríguez, A.I., Llano, J., dos Santos Afonso, M. y Trinelli, M.A. (2014). Adsorptive Removal Of Arsenic From Waters Using Natural and Modified Argentinean Zeolites. *Congreso de Ciencias Ambientales-COPIME. 711-713. Buenos Aires*. (ISSN: 2154-6568. ISBN: 978-1-138-00141-1.)

Cazau, L., Cortiñas, J., Reinante, S, Asensio, M., Bechis, F. y Aprea, A. (2005). Cuenca de Ñirihuau. En Chebili, G., Cortiñas, J.S., Spalletti, L.A., Legarreta, L y Vallejo, E.L. (Eds.):



Simposio frontera Exploratoria de la Argentina. *6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, Actas: 251-274.

Charrier, R. (1979). El Triásico de Chile y regiones adyacentes de Argentina: una reconstrucción paleogeográfica y paleoclimática. *Comunicaciones*, 26: 1-37. Santiago, Chile.

Chelotti, L., Vietto, M., Calegari, R. y Bitschene, P. (1996). Emplazamiento de cuerpos subvolcánicos de composición básica alcalina en el área Romberg-Wenceslao, Cuenca Golfo San Jorge, Argentina. *13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de exploración de Hidrocarburos*, Actas 3: 581-599, Buenos Aires.

Civeira, G., y Rodríguez, M. B. (2011). Nitrógeno residual y lixiviado del fertilizante en el sistema suelo-planta-zeolitas. *Ciencia del Suelo*, 29(2), 285-294.

Cócola, M.A., López, N.A., Mas, G.R. y Bengochea, A.L. (2010). Zeolitas de la serie heulandita-clinoptilolita presente en la manifestación geotermal Los Tachos, Volcán Domuyo, Argentina. *10º Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Río Cuarto. Argentina*. Actas: 51-56.

Collins, W.J. (2002). Hot orogens, tectonic switching, and creation of continental crust. *Geology*, 30: 535-538.

Coombs, D.S., Alberti, A., Armbruster, T., Artioli, G., Colella, C., Galli, E., Grice, J.D., Liebau, F., Mandarino, J.A., Minato, H., Nickel, E.H., Passaglia, E., Peacor, D.R., Quartieri, S., Rinaldi, R., Ross, M., Sheppard, R.A., Tillmans, E. y Vezzalini, G. (1997). Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the Subcommittee on zeolites of the IMA, *Comisión on new minerals and mineral names. The Canadian Mineralogist*, 35: 1571-1606.

Cortelezzi, C. (1966). Estudio mineralógico de una zeolita de Valcheta, Mina San Martín, provincia de Río Negro,

República Argentina. *Revista del Museo de La Plata* (Nueva Serie), 6:1-9.

Cortelezzi, C. (1973). Estudio de wairakita y levynita en rocas del Arroyo China Muerta, provincia de Neuquén, República Argentina. *Revista Museo de La Plata, Sección Geología*, 9: 1-7.

Cortelezzi, C. y Musacchio, E. (1973). Zeolitas en rocas del Cerro China Muerta, provincia del Neuquén y Cerro Castillo, provincia de Santa Cruz. *5º Congreso Geológico Argentino*, 1: 105-110.

Cortelezzi, C., Roellig, F., Ametrano, S. e Iasi, R. (1987). Estudio mineralógico-químico de una chabazita de la provincia de Misiones, República Argentina. *10º Congreso Geológico Argentino. San Miguel de Tucumán, Argentina*. Actas 2: 241-244.

Cravero, M.F. y Domínguez, E. (1993). Influencia de la desvitrificación en los productos de alteración de las tobas del Grupo Bahía Laura. *12º Congreso Geológico Argentino*. Tomo 5: 229-233.

De Barrio, R., Panza, J. y Nullo, F. (1999). Jurásico y Cretácico del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. En Caminos, R. (Ed.): *Geología argentina*, capítulo 17. *Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales* 29 (17): 511-527. Buenos Aires, Argentina.

Dalla Salda, L., Leguizamón, M., Mazzoni, M., Merodio, J., Rapela, C. y Spalletti, L. (1981). Características del vulcanismo Paleógeno en la Cordillera Nordpatagónica entre las latitudes 39°30' y 41°20'S. *8º Congreso Geológico Argentino. San Luis, Argentina*. Actas 3: 629-657.

Deer, W., Howie, R., Zussman, J. y Wise, W. (2004). *Rock Forming Minerals. Volume 4B, Framework silicates, Silica minerals, Feldspathoids and Zeolites. Geological Society. 2nd edition. London, UK. 383pp.*

Demartis, M., Melgarejo, J.C., Colombo, F., Alfonso, P., Coniglio, J.E., Pinotti, L. y D'Eramo, F. (2014). Pollucita en la pegmatita Ángel, distrito Comenchingones (Córdoba): una evidencia de fraccionamiento extremo en eventos de reemplazo tardío-pegmatíticos. *19° Congreso Geológico Argentino, Sesión Técnica 7 "Mineralogía"*, Actas en CD, T7-3, 2pp. Córdoba. Argentina.

Depine, G., Gargiulo, F., Leal, P., Scaricabarozzi, N., Spagnuolo, C. y Vattuone, M.E. (2003). Paragénesis de zeolitas en rocas volcánicas de la Cordillera Patagónica Septentrional, Villa La Angostura, Neuquén, República Argentina. *10° Congreso Geológico Chileno, Concepción, Chile*. CD, 11 pp.

Di Paola, E.C. (1965). Heulandita autigénica en formaciones mesozoicas de Neuquén y Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 20 (2): 229-240.

Di Tommaso, I., Marengo, H. y Buceta, G. (2011). Zeolitas en depósitos hidroclásticos del campo basáltico Llancanelo, provincia de Mendoza. *18° Congreso Geológico Argentino. Neuquén. Argentina*.

Echaurren, A., Folguera, A., Gianni, G., Orts, D., Tassara, A., Encinas, A., Giménez, M., Valencia, V. (2016). Tectonic evolution of the North Patagonian Andes (41°–44° S) through recognition of syntectonic strata. *Tectonophysics*, 677: 99–114.

Escosteguy, L., Dal Molín, C., Franchi, M., Geuna, S., Lapido, O. y Genini, A. (2003). Hoja Geológica 4772-II, Lago Buenos Aires. Provincia de Santa Cruz. *Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires*. Boletín 339, 80 p.

Fernández, M., Caso M.P., Leal, P.R., Cozzi, G. y Schencman, L.J. (2010). Paragénesis de zeolitas en basaltos de la unidad Diques de Colipilli, localidad de Pichaihue (provincia de Neuquén). *10 Congreso de Mineralogía y Metalogenia*. 109-116.

Figari, E.G. y Courtade, S.F. (1993). Evolución tectosedimentaria de la cuenca de Cañadón Asfalto, Chubut, Argentina. *12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Actas 1: 66-77, Buenos Aires, Argentina.

Fitzgerald, M.G., Mitchum, R.M., Uliana, M.A. y Biddle, K.T. (1990). Evolution of the San Jorge Basin, Argentina. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 74 (6): 879-920.

Fuente, A. y Gayone, M.R. (1999). Distrito uranífero Laguna Colorada, Chubut. Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), *Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR*, Anales 35: 1253-1254, Buenos Aires.

Gallegos, E., Martínez Dopico C., Crosta S., Berbeglia Y. y Vattuone, M.E. (2008). Mineralogía de Faujasita-Ca acompañada de escolecita y thomsonita en volcanitas mioceanas, Cordillera Patagónica Septentrional. *9° Congreso de Mineralogía y Metalogenia. San Salvador de Jujuy, Argentina*. 31-38.

Galliski, M., Lira, R. y Oyarzábal, J. (1992). Los pegmatoides foidíferos del Cerro La Madera, provincia de Córdoba: mineralogía y paragénesis. *I Reunión de Mineralogía y Metalogenia y I Jornada de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de Rocas Ultrabásicas. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata*. Publicación 2: 393-404.

Galliski, M. A., Dorais, M. y Lira, R. (1996). Las pegmatitas ijolíticas de La Madera, provincia de Córdoba: quimismo de sus minerales y modelo genético. *13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, 3: 207-225.

Galliski, M.A., Márquez-Zavalía, M.F., Lira, R., Cempírek, J. y Škoda, R. (2012). Mineralogy and origin of the dumortierite bearing pegmatites of Virorco, San Luis, Argentina. *The Canadian Mineralogist*, 50: 873-894.

Gargiulo, M.F. (2005). Geología de las rocas ígneas del sector austral de la sierra de Cuyín Manzano, provincia de Neuquén, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Inédito. 186 pp.

Gargiulo, M.F. (2006). Facies metamórficas y edades relativas de las rocas del extremo oriental del Brazo Huemul, provincia de Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61: 218-230.

Gargiulo, M.F. y Vattuone, M.E. (2008). Zeolite assemblages in paleogene basalts of Mallín Ahogado, Northern Patagonian Andes, Neuquén, Argentina. *4th International Conference of the Federation of European Zeolite Associations (FEZA)*. Paris, Francia. 2 pp.

Gay, H. y Galliski, M. (1976). Zeolitas de Canteras Reducción, Villa Allende, Córdoba. *6° Congreso Geológico Argentino*, 2: 61-68.

González Bonorino, F. (1944). Descripción geológica y petrográfica de la hoja 41 b, Río Foyel, territorio de Río Negro. Dirección de Minería, Geología e Hidrogeología, Boletín N° 56. Buenos Aires.

Gozálvez, M., Herrmann, C. y Zappettini, E. (2004). Minerales Industriales de la República Argentina. *Servicio Geológico Minero Argentino*, Anales 39, 371pp. Buenos Aires, Argentina.

Gutscher, M.A. (2002). Andean subduction styles and their effect on thermal structure and interpolate coupling. *Journal of South America Earth Sciences*, 15: 3-10.

Hayase, K., Mas, G. y Maiza, P. (1974). Estudio mineralógico de una heulandita hallada en Mina Tres Picos; provincia del Neuquén, República Argentina. *Revista Minera*, 32: 58-69.

Iannelli, S.B., Litvak, V.D., Fernández Paz, L., Folguera, A., Ramos, M.E. y Ramos, V. A. (2017). Evolution of Eocene to Oligocene arc-related volcanism in the North Patagonian Andes (39–41°S), prior to the break-up of the Farallon plate. *Tectonophysics*, 696-697:70-87.

Impicini, A. (1993). Los depósitos bentoníticos Cretácicos del Dpto. Añelo, provincia del Neuquén. Geología, mineralogía y aspectos tecnológicos. *12° Congreso Geológico Argentino*. 5: 255-261.

Impicini, A. (1995). Mineralogía de la fracción no arcillosa de las bentonitas del Cretácico Superior de la región Norpatagonia. *Tesis doctoral U. N. de La Plata*. Inédito. La Plata.

Iñiguez Rodríguez, A.M. (1979). Estudio mineralógico de herschelita encontrada en cavidades de basaltos de la serie Sierra Peral en el área de Garruchos-Garabí. Provincia de Corrientes. República Argentina. *7° Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires, Argentina*. 2: 351-357.

Iñiguez Rodríguez, A.M. y Zalba, P.E. (1993). Ceolitas del Grupo Chubut (Cretácico), Provincia de Chubut, Argentina. Zeolitas'91 - *III Conferencia sobre ocurrencia, propiedades y usos de las zeolitas naturales. La Habana, Cuba*. Actas 1: 43-48.

Iñiguez Rodríguez, A.M., Zalba, P.E. y Maggi, J.H. (1987). Clinoptilolita y analcima en miembros del Grupo Chubut entre Paso de Indios y Las Plumas, Provincia de Chubut, Argentina. *X Congreso Geológico Argentino. San Miguel de Tucumán, Argentina*. Actas 1: 76-78.

Isacks, B., Jordan, T., Allmendinger, R. y Ramos, V.A. (1982). La segmentación tectónica de los Andes Centrales y su relación con la geometría de la placa de Nazca subductada. *5° Congreso Latinoamericano de Geología*, Actas 3: 587-606. Buenos Aires, Argentina.

- Jones, R.E., Kirstein, L.A., Kasemann, S.A., Litvak, V.D., Poma, S., Alonso, R.N. y Hinton, R. (2016). The role of changing geodynamics in the progressive contamination of Late Cretaceous to Late Miocene arc magmas in the southern Central Andes. *Lithos*, 262. 169-191.
- Jordan, T.E., Isacks, B., Ramos, V.A. y Allmendinger, R.W. (1983). Mountain building in the Central Andes. *Episodes*, 3: 20-26.
- Kay, S. M. y Gordillo C.E. (1990). Pocho volcanic rocks in the Sierra de Córdoba. Melting of depleted continental lithosphere above a shallow subduction zone. *10° Congreso Geológico Argentino*, Actas 1: 60-63, Tucumán, Argentina.
- Kay, S.M., Ramos, V.A., Mpodozis, C. y Sruoga, P. (1989). Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwanaland margin: analogy to the Middle Proterozoic in North America?. *Geology*, 17 (4): 324-328.
- Kay, S. M., Mpodozis, C., Ramos, V.A. y Munizaga, F. (1991). Magma source variations for mid to late Tertiary volcanic rocks erupted over a shallowing subduction zone and through a thickening crust in the Main Andean Cordillera (28-338S). En Harmon, R.S. and RAPELA, C. (Eds): *Andean Magmatism and its Tectonic Setting. Geological Society of America. Special Paper*, 265: 113-137.
- Lagorio, S. y Montenegro, T. (1996). Ceolita de la serie analcima-wairakita en el cerro Libertad, Sierra de los Cóndores, Córdoba. *3° Reunión de Mineralogía y Metalogenia*. Publicación del INREMI, UNLP, 5:139-146.
- Lagorio, S., Massafiero, G., Vattuone, M.E. y Latorre, C. (2001). Mineralogía y metamorfismo de vulcanitas de Aluminé. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56(2): 211-220.
- Lanzilotta, I., Rossa, N. y Mendoza, N. (2002). Clinoptilolita en las fajas arcillosas de la zona del Río Blanco, Ullúm. San Juan. *15° Congreso Geológico Argentino. El Calafate*. Argentina. Actas, 1: 401-405.
- Latorre, C. y Vattuone, M.E. (1985). Apofilita, chabazita y minerales asociados de la Cantera Freyer, El Dorado, Misiones. *Revista de la Asociación de Mineralogía, Petrología y Sedimentología*, 16(1-2): 17-25.
- Latorre, C. y Vattuone, M. (1990). Zeolitización en granitoides y vulcanitas de Lago Aluminé, Neuquén, República Argentina. *1er Congreso Geológico del Uruguay*, 1: 191-197.
- Latorre, C. y Vattuone, M. (1994a). Estilbita y clinoptilolita en la Serie Andesítica. La Angostura, Neuquén. *2a Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Instituto de Recursos Minerales, UNLP*. Publicación 3:183-189.
- Latorre, C.O. y Vattuone, M.E. (1994b). Asociación esmectitas - calcosilicatos en metabasaltos cercanos al río Collón Cura, Neuquén, Argentina. *7° Congreso Geológico Chileno. Concepción, Chile*: 2, 1085-1090.
- Latorre, C.O. y Vattuone, M.E. (1995). Asociaciones minerales de la facies de ceolita en Paso del Córdoba, Neuquén, República Argentina. *4° Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Junín, Argentina*. Actas 1: 287-294.
- Latorre, C. y Vattuone, M.E. (1996). Tirodita de Aluminé, Provincia del Neuquén, Argentina. *12° Congreso Geológico Argentino y 3° de Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Buenos Aires, Argentina*. Actas 3: 255-258.
- Latorre, C., Vattuone, M. y Leal, P. (2000). Hallazgo de barrerita en amígdalas de metabasaltos, noroeste de Chubut, Patagonia Argentina. *Simposio Internacional de Metamorfismo Andino. 9° Congreso Geológico Chileno*, 2: 515-519.

- Latorre, C., Vattuone, M., Massafiero, G., Lagorio, S. y Viviani, R. (1990). Analcima, Thomsonita, Laumontita y Natrolita en basaltos de Rucachoroi: mineralogía y condiciones de formación. *Revista de Geólogos Economistas, Publicación Especial*: 18-26.
- Leal, P.R. (1999). Petrología de las rocas ígneas de los alrededores del lago Nahuel Huapi, Neuquén. *14° Congreso Geológico Argentino, Salta, Argentina*. 2: 207-210.
- Leal, P.R., Vattuone, M.E. y Latorre, C.O. (2011). Zeolite assemblages from Northern Patagonian Andes: A review. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28(2): 10-23.
- Leal, P.R., Remesal, M., Salani, F. M. y Cordenons, P. D. (2016). Mineralogía de los rellenos vesiculares de la secuencia basáltica entre Bajada del Diablo y Marrán-Co, Chubut. *Acta Geológica Lilloana*, 28 (1):167-173. Tucumán, Argentina.
- Legarreta, L. y Gulisano, C.A. (1989). Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior-Terciario Inferior). En Chebli, G. y Spalletti, L. (Eds.): *Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica*, 6: 221-243.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. (1999). El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y La Cuenca Neuquina. Facies sedimentarias. En Caminos, R. (Ed.): *Geología Argentina, Capítulo 16. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales* 29 (16): 399-432. Buenos Aires, Argentina.
- Lema, H. y Cortés, J.M. (1987). El vulcanismo eoceno del flanco oriental de la meseta del Canquel, Chubut, Argentina. *10° Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires, Argentina. Actas*, 4: 188-191.
- Limarino, C., Page, S., Litvak, V., Net, L., Caselli, A. y Gutiérrez, P. (1998). Hoja Geológica 3166 – I Chamental, provincias de La Rioja y San Juan. *Boletín del Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires, Argentina*. N°257.
- Lister, G.S. y Forster, M.A. (2009). Tectonic mode switches and the nature of orogenesis. *Lithos*, 113: 274-291.
- Llambías, E.J. (2015). Geología de los cuerpos ígneos. Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y Complementaria N°32, 237p. Buenos Aires, Argentina.
- Llambías, E.J., Kleiman, L.E. y Salvarredi, J.A. (1993). El magmatismo gondwánico. En Ramos, V. (Ed.): *Geología y Recursos Naturales de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 1* (3): 53-64, Mendoza, Argentina.
- Locati F., Falcone D., Marfil S., Raggiotti B. (2015). Use of natural zeolites as ASR inhibitor in basaltic rocks. *International Conference on Sustainable Structural Concrete*, Acta: 381-392. La Plata, Argentina.
- Maiza, P.J. y Hayase, K. (1975). Estudio mineralógico del yacimiento de talco cerámico, mina Naunauco. Prov. de Neuquén. República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 30: 121-132.
- Manassero, M., Zalba, P. y Andreis, R. (2000). Petrology of continental pyroclastic and epiclastic sequences in the Chubut Group (Cretaceous): Los Altares – Las Plumas area, Chubut, Patagonia Argentina. *Revista Geológica de Chile*, 27(1): 13-26.
- Marquetti, C., Dal Molin, C., Donnari, E. y Cozzi, G. (2016). Prospección de ceolitas sedimentarias en Argentina: aplicación de datos ASTER, espectrometría de reflectancia SWIR y rayos X. Formación Bajo Barreal, Chubut. *Acta Geológica Lilloana, Tucumán, Argentina*. 28 (1): 200-204.

Mas, G. y Bengochea, A.L. (1982). Estudio Mineralógico de dos Ceolitas de Mina Naunauco, Provincia de Neuquén, Argentina. *5° Congreso Latinoamericano de Geología. Buenos Aires, Argentina*. Actas 1: 675-687.

Mas, G., Peral, H. y Maiza, P. (1990). Mineralogía de una mesolita del lago Falkner, provincia del Neuquén, República Argentina. *Publicación Especial de la Asociación Argentina de Geólogos Economistas*: 30-33.

Mas, G., Mas, L. y Bengochea, L. (1996). La wairakita del Campo Geotérmico Copahue, Neuquén, Argentina. *3° Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Instituto de Recursos Minerales, UNLP*. Publicación 5: 147-151.

Mas, G., Bengochea, L. y Mas, L. (1999). Las ceolitas del Campo Geotérmico Copahue. *14° Congreso Geológico Argentino*, 2: 337-340.

Mason, B. y Sand, L. (1960). Clinoptilolite from Patagonia the relationship between clinoptilolite and heulandite. *The American Mineralogist*, 45: 341-350.

Massaferro, G. y Haller, M. (2004). Zeolitas de la Formación Lonco Trapial en el Río Chubut medio. *7° Congreso de Mineralogía y Metalogenia*: 13-18. Río Cuarto, Argentina.

Massaferro, G. y Lagorio, S. (1993). Estilbita de la localidad de Aluminé, Neuquén, República Argentina. *Low temperature metamorphism, IGCP 294 Abstracts*: 65-69.

Massaferro, G. y Lagorio, S. (1994). Chabazita y phillipsita en basaltos de la Isla Vega, Antártida. *II Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata*. Publicación 3: 243-250.

Menegatti, N.D., Massaferro, G.I., Fernández, M.I. y Giacosa, R. (2013). Petrología de los cuerpos básicos alcalinos

del Sur del Chubut. *2° Reunión de Petrología y Metalogénesis Asociada. San Luis, Argentina*.

Menegatti, N.D., Massaferro, G.I., Fernández, M.I. y Giacosa, R. (2014). Geología y geoquímica de los cuerpos básicos alcalinos al sur de los lagos Musters y Colhué Huapí, Cuenca del Golfo San Jorge, Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71 (4): 484-499.

Millán, G., Agosto, F., Vázquez, M., Botto, L., Lombardi, L., y Juan, L. (2008). Uso de clinoptilolita como un vehículo de fertilizantes nitrogenados en un suelo de la región Pampeana de Argentina. *Ciencia e Investigación Agraria*, 35(3), 293-302.

Montenegro, T. (2013). Las zeolitas de los basaltos del Grupo Volcánico Isla Jaime Ross, en las proximidades de Punta Santa Rita, Isla Jaime Ross, Antártica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, (70) 4: 577-582.

Montenegro, T. y Quenardelle, S. (2000). Natrolita en amígdalas del Cerro La Madera, provincia de Córdoba, Argentina. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 23, 17-26.

Morello, O. (1994). Mordenita de Malargüe, Mendoza. Informe DEE9-94, CNEA. Inédito.

Mórtola, E. (1923). Rocas Alcalinas Básicas del sur del Chubut. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Buenos Aires, Argentina. Boletín 34, Serie B, 55 p.

Mpodozis, C. y Ramos, V.A. (1989). The Andes of Chile and Argentina. En Ericksen, G.E., Cañas Pinochet, M.T. y Reinemud, J.A. (Eds.): *Geology of the Andes and its relation to Hydrocarbon and Mineral Resources*, Circumpacific Council for Energy and Mineral Resources, Herat Sciences Series, 11: 59-90, Houston, EEUU.



Munizza, G., Celeda, A., Legnoverde, S., Basaldella, E., Ruiz de Arechavaleta, M., Rosso, A., Eisenberg, P., Fernández, M.R. y Ariosti, A. (2007). Adsorción de etileno en una zeolita natural (clinoptilolita argentina) y zeolitas sintéticas del grupo de las faujasitas (LSX). *6 Jornadas de Desarrollo e Innovación Tecnológica. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Buenos Aires, Argentina.* 4pp.

Musso, T., Concheyro, A. y Pettinari, G. (2012). Mineralogía de arcillas y nanofósiles calcáreos de las formaciones Jagüel y Roca en el sector oriental del lago Pellegrini, Cuenca Neuquina, República Argentina. *Andean Geology* 39 (3): 511-540.

Oncken, O., Hindle, D., Kley, J., Elger, K., Victor, P. y Schemmann, K. (2006). Deformation of the Central Andean upper plate system: facts, fiction, and constraints for plateau models. En Oncken, O., Chong, G., Franz, G., Giese, P., Götze, H.-J., Ramos, V.A., Strecker, M.R., Wigger, P. (Eds.): *The Andes and Active Subduction Orogeny, Frontiers in Earth Sciences Series*, 1: 3-27.

Orts, D.L., Folguera, A., Giménez, M., Ruiz, F., Vera, E.A.R., Klinger, F.L. (2015). Cenozoic building and deformational processes in the North Patagonian Andes. *J. Geodyn.* 86, 26-41.

Pankhurst, R.J. y Rapela, C.W. (1993). The Jurassic acidic volcanism of Northeast Patagonia: a short lived event of deep origin. *2° International Symposium on Andean Geodynamics*, Proceedings: 423-425, Oxford, UK.

Pankhurst, R.J. y Rapela, C.W. (1995). Production of Jurassic rhyolite by anatexis of the lower crust of Patagonia. *Earth and Planetary Science Letters*, 134: 23-26.

Pankhurst, R. J., Leat, P. T., Sruoga, P., Rapela, C. W., Márquez, M., Storey, B. C. y Riley, T. R. (1998). The Chon Aike

silicic igneous province of Patagonia and related rocks in Antarctica: a silicic LIP. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 81: 113-136.

Panza, J.L. (1981). Descripción geológica de las Hojas 46e "Gran Laguna Salada" y 47f "Meseta Cuadrada" (escala 1:100000), provincia del Chubut. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Buenos Aires. Inédito, 241 p.

Pardo Casas, F. y Molnar, P. (1987). Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American Plates since Late Cretaceous time. *Tectonics*, 6 (3): 233-248.

Péndola, H. y Latorre, C. (1975). Acerca de la presencia de estilbita en el yacimiento de fluorita La Alegría, Los Menudos, Río Negro. *2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica*, 5: 357-370.

Pérez Guerrero, D., Buxó, P., Maza, S., Mirabal, R., Ongay, M. y Ruíz Mallén, M. (2003). Depósitos de Zeolitas. En Melgarejo, J.C. (Ed.): Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada. Volúmen 1: 333-342. Gramagraf S.C.C., Barcelona, España.

Pezzuchi, H. y Fernández, M.I. (2001). Hoja Geológica 4569-III: Sarmiento, provincia del Chubut. *Instituto de Geología y Recursos Minerales-SEGEMAR*. Buenos Aires. 55 pp.

Pezzutti, N.E. y Villar, L.M. (1978). Los complejos alcalinos en la zona de Sarmiento, provincia de Chubut. *7° Congreso Geológico Argentino*, 2: 511-520. Neuquén, Argentina.

Piovano, E., Bertolino, S. y Depetris, P. (1993). Presencia de estilbita como indicadora de hidrotermalismo de la Formación Saldán, provincia de Córdoba, Argentina. *12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de exploración de Hidrocarburos*, 5: 216-227.



- Raggiotti, B., Positieri, M., Locati, F., Murra, J., Marfil, S. (2015). Zeolite, study of aptitude as a natural pozzolan applied to structural concrete. *Journal of Construction*, 14 (2): 14-20. 0718-915X.
- Ramos, V.A. (1988). The tectonics of the Central Andes: 30° to 33° S latitude. En Clark, S. y Burchfiel, D. (Eds.): *Processes in Continental Lithospheric Deformation*. Geological Society of America. Special Paper 218: 31-54, Boulder.
- Ramos, V.A. (1999a). Rasgos estructurales del territorio argentino. 1. Evolución tectónica de la Argentina. En Caminos, R. (Ed.): *Geología Argentina*, Capítulo 24. *Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR*. Anales 29 (24): 715-784. Buenos Aires, Argentina.
- Ramos, V.A. (1999b). Plate tectonic setting of the Andean Cordillera. *Episodes*, 22 (3): 183-190.
- Ramos, V.A. (1999c). El segmento de subducción horizontal de los Andes Centrales. *Acta Geológica Hispánica*, 32 (1-2): 5-16.
- Ramos, V.A. (2005). Ridge collision and topography: foreland deformation in the Patagonian Andes. *Tectonophysics*, 399: 73-86.
- Ramos, V.A. (2010). The Grenville-age basement of the Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 29: 77-91.
- Ramos, V.A. y Folguera, A. (2005). Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. En Veiga, G., *et al.* (Eds.): *The Neuquén Basin: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. *The Geological Society of London. Special Publication*, 252: 15-35.
- Ramos, V.A. y Kay, S.M. (1991). Triassic rifting and associated basalts in the Cuyo basin, central Argentina. En Harmon, R.S. y Rapela, C.W. (Eds.): *Andean magmatism and its tectonic setting*. *Geological Society of America*. Special Paper 265: 79-91, Boulder.
- Ramos, V.A., Niemeyer, H., Skarmeta, J. y Muñoz, J. (1982). The magmatic evolution of the Austral Patagonian Andes. *Earth Science Reviews*, 18 (3-4): 411-443.
- Rapela, C.W. y Kay, S.M. (1988). Late Paleozoic to recent magmatic evolution of northern Patagonia. *Episodes*, 11: 175-182.
- Rapela, C.W., Spalletti, L.A., Merodio, J.C. y Aragón, E. (1984). El vulcanismo paleoceno-eoceno de la provincia volcánica Andino-Patagónica. *9° Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche, Argentina*. Actas 1: 189-213.
- Rapela, C., Spalletti, L., Merodio, J. y Aragón, E. (1988). Temporal evolution and spatial variation of early Tertiary volcanism in the Patagonian Andes (40°S-42°30'S). *Journal of South American Earth Sciences*, 1: 75-88.
- Restuccia S., Trinelli M.A., Leal, P.R. y dos Santos Afonso, M., (2011). Estudios de adsorción de glifosato sobre zeolitas de origen argentino. *Congreso de Ciencias Ambientales CO-PIME*. Actas en CD.
- Riggi, J. (1978). La importancia de los sedimentos piroclásticos y de la sílice biogenética en la estratigrafía de la Formación Patagonia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 33(2): 158-171.
- Risso, C., Németh, K., Combina, A., Nullo, F. y Drosina, M., (2008). The role of phreatomagmatism in Plio-Pleistocene high-density scoria cone field: Llanqueto Volcanic Field (Mendoza), Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 169: 61-86.

Rosello, E., Limarino, C.O., Ortiz, A. y Hernández, N. (2005). Cuencas de los Bolsones de San Juan y La Rioja. En Chebli, G. A., Cortiñas, J. S., Spalletti, L. A., Legarreta, L. y Vallejos, E. L., (Eds.), *Frontera Exploratoria, VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG*. Actas 7: 147-173. Mar del Plata, Argentina.

Ruggieri, F.A., Marín, V.B., Gimeno, D.B., Fernández-Turiel, J.L., García-Valles, M.B. y Gutierrez, L.C. (2008). Application of zeolitic volcanic rocks for arsenic removal from water. *Engineering Geology*, 101(3-4): 245-250.

Salani, F., Remesal, M. y Párica, C. (1990). Aspectos petrológicos de las vulcanitas de la Isla Decepción, Antártica. *9º Congreso Geológico Argentino*, Actas 1: 129-132.

Salfty, J.A. y Marquillas, R.A. (1999). La cuenca cretácico-terciaria del norte argentino. En Caminos, R. (Ed.): *Geología Argentina*, Capítulo 19. *Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR*. Anales 20 (19): 613-626. Buenos Aires, Argentina.

Silver, P.G. y Russo, R.M. (1996). Cordillera formation, mantle dynamics, and the Wilson cycle. *Geology*, 24 (6): 511-514.

Soca, M., Castellanos, J. y Febles J. (2004). Efecto de la zeolita en la eficiencia de los fertilizantes químicos, fertilizantes y enmiendas de origen mineral. *Panorama Minero (Buenos Aires, Argentina)* 14:261-268.

Spalletti, L.A. e Iñiguez Rodríguez, A.M. (1986). Nuevos datos sobre argilominerales y zeolitas de la Formación Ñirihuau y equivalentes (Terciario) en la Patagonia occidental. *1º Reunión Argentina Sedimentología*, Resumen expandido: 250-252.

Stelzner, S. (1885). *Beiträge zur Geologie und Paläontologie der Argentinischen Republik*. Cassel.

Strelkov, E.E. y Álvarez, L.A. (1984). Análisis estratigráfico y evolutivo de la Cuenca triásica mendocina-sanjuanina. *9º Congreso Geológico Argentino*, Actas 3: 115-130. Buenos Aires, Argentina.

Teruggi, M. (1952). Mordenita, una zeolita rómbica en un basalto de Misiones. Museo Bernardino Rivadavia. *Ciencias Geológicas*, 1 (9).

Teruggi, M. (1962). Sobre la presencia de analcima sedimentaria en el Chubutiano del codo del río Sengerr (Chubut). Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie), Sección Geología*. Tomo V: 193-217.

Teruggi, M. (1964). Differentiated zeolites and nepheline-syenites in basic sills of Central Patagonia. *22º Congreso Geológico Internacional, India*.

Teruggi, M. y Andreis, R. (1963). Revisión de las zeolitas con especial referencia a su importancia sedimentológica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 18(1-2): 73-95.

Trinelli, M.A. (2011). Estudios de procesos de fotodegradación y adsorción de plaguicidas organofosforados para el desarrollo de tecnologías de depuración. Tesis Doctoral de la Universidad de Buenos Aires. Inédito.

Trinelli M.A., Restuccia S., Leal P. y dos Santos Afonso, M., (2012). Estudios del Proceso de Adsorción de Glifosato Sobre Zeolitas. *IV Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental SETAC. Argentina*.

Torres Duggan, M. (2017). Productividad forrajera en ambientes ganaderos mejorados con la aplicación de residuos de feed lot, roca fosfática y zeolita natural. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires. Área-disciplina Recursos Naturales. 145 p. Inédito.

Torres Duggan, M., Rodríguez, M.B., Marelli, S., Couchot, F., Civeira, G., Castro, L. Leal, P.R. y Lamelas, J., (2016). Recuperación de fósforo del raigrás en un suelo tratado con roca fosfática y zeolita natural. *XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Río Cuarto*.

Torres Duggan, M., Rodríguez, M.B., Behrends Kraemer, F., Fernández, P.L., Castro, L. y Leal, P.R., (2017). Impacto del agregado de zeolita y residuos de feed lot sobre la condición hidrofísica y química de un suelo Haplustol éntico. Simposio de Fertilidad (IPNI). En prensa.

Uliana, M.A. y Biddle, K.T. (1987). Permian to Late Cenozoic evolution of northern Patagonia: main tectonic events, magmatic activity, and depositional trends. *Gondwana Six: Structure, Tectonics, and Geophysics*: 271-286.

Uliana, M.A., Biddle, K.T. y Cerdan, J. (1989). Mesozoic extension and the formation of the Argentina Sedimentary Basins. En Tankard, A. J., Balkwill, H.R. (Eds): Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins. *American Association of Petroleum Geologists. Memoria* 46: 599-613.

Vallés, J. M. e Impiccini, A. (1994). Hallazgos de bentonita en los niveles basales de la Formación Chichinales, Departamento Añelo, provincia de Neuquén. *2º Reunión de Mineralogía y Metalogenia*, Actas: 423-428.

Vallés, J. M. e Impiccini, A. (1996). Geología, mineralogía y propiedades tecnológicas de las bentonitas de Pozo Cava-do, Departamento Añelo, Neuquén. *6º Reunión Argentina de Sedimentología y 1º Simposio de Arcillas*, Actas: 317-428.

Vallés, J. M. e Impiccini, A. (1999). Bentonitas de la Cuenca Neuquina, Río Negro, Neuquén y La Pampa. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), *Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR*, Anales 35: 1113-1125, Buenos Aires.

Varela, R. (2014). Manual de Geología. Instituto Superior de Correlación Geológica. Miscelánea 21. 158 pp. Tucumán, Argentina.

Vattuone, M.E. (1990). Paragénesis mineral del metamorfismo en el área de Aluminé, Cordillera Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 45(1): 107-119.

Vattuone, M. y Latorre, C. (1990). Low grade metamorphism in granitoids and volcanic rocks of Cordillera Neuquina, Argentina: *Journal of South American Earth Sciences*, 3(4), 247-252.

Vattuone, M. y Latorre, C. (1994). Características mineralógicas y génesis de la laumontita de Chapelco, Neuquén. *2a Reunión de Mineralogía y Metalogenia, Instituto de Recursos Minerales, UNLP*. Publicación 3: 429-435.

Vattuone, M.E. y Latorre, C. (1996a). Metamorfismo de muy bajo grado en rocas volcánicas de la Formación Ventana, San Martín de los Andes, Neuquén, Argentina. *Revista Geológica de Chile*, 23, 2: 187-200.

Vattuone, M. y Latorre, C. (1996b). Yugawaralita de Lago Meliquina, Neuquén, República Argentina. *3a Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Instituto de Recursos Minerales, UNLP*. Publicación 5: 251-256.

Vattuone, M.E. y Latorre, C.O. (1999). Zeolitas cálcicas en vulcanitas del Cretácico Superior. Su génesis en un paleosistema geotermal. El Molle, Chubut, República Argentina. *1º Simposio sobre el Cretácico de América del Sur*, 1: 213-218. *Serra Negra, Brasil*.

Vattuone, M.E. y Latorre, C. (2002a). Na-Mg offretite from Futalaufquen, Patagonian Andes, Argentina. *Zeolite* 02. *6th International Conference on the occurrence, properties and utilization of natural Zeolites*, 1: 382-383. Greece.

Vattuone, M.E. y Latorre, C. (2002b). Dachiardita cálcica en metandesitas cretácicas del cerro Nahuel Pan, Chubut. República Argentina. *6° Congreso de Mineralogía y Metalogenia*: 439-440.

Vattuone, M.E. y Latorre, C. (2004). Edades K/Ar al este del Cerro Nahuel Pan, Chubut. Implicancias en la correlación del Grupo Divisadero y del Choyoi en el área. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (3): 510-513.

Vattuone, M.E. y Tourn, S. (2002). Polimorfo ortorrómbico de la serie fluorapofilita / hidroxipofilita asociado a chabazita y laumontita en amígdalas de basaltos. Chapelco, Neuquén. *6° Congreso de Mineralogía y Metalogenia*: 441-446.

Vattuone, M.E., Latorre, C., Viviani, R. y Borbolla, M. (1996a). Mineralogía de ceolitas cálcicas y filosilicatos máficos que caracterizan el metamorfismo hidrotermal de las volcanitas paleógenas desde Lago Hermoso a Río Traful, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 51 (3): 235-247.

Vattuone, M.E., Latorre, C. y Tourn, S. (1996b). Alteración hidrotermal con manifestaciones de sulfuros relacionada a intrusiones magmáticas del batolito Nordpatagónico en el área de Aluminé, Neuquén. *3° Reunión de Mineralogía y Metalogenia. La Plata, Argentina*, 257-263.

Vattuone, M.E., Latorre, C., Leal, P.R. y Martínez, A. (1997). Asociaciones minerales de bajo grado en Pío Proto, San Martín de los Andes, Neuquén, República Argentina. *8° Congreso Geológico Chileno, Antofagasta*, 2, 1561-1564.

Vattuone, M.E., Latorre, C., Leal, P., Martínez, A. y Viviani, R. (1999). Calcosilicatos y filosilicatos de facies ceolita y prehnita-pumpellyita en Pío Proto, Neuquén, Patagonia argentina. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 22: 185-197.

Vattuone, M.E., Latorre, C. y Leal, P.R. (2000a). Metamorfismo de muy bajo grado en volcanitas mesozoicas de la Cordillera Patagónica (42°43' LS), Chubut, República Argentina. *9° Congreso Geológico Chileno*, 2: 545-547. Puerto Varas, Chile.

Vattuone, M.E., Latorre, C. y Leal, P.R. (2000b). La prehnita de las volcanitas de "El Molle", Chubut. *5° Congreso de Mineralogía y Metalogenia*, 480-494. La Plata, Argentina.

Vattuone, M.E., Latorre, C.O. y Leal, P.R. (2001a). Procesos de formación de paragénesis ceolíticas en el metamorfismo de muy bajo grado de las volcanitas paleógenas al sur de Confluencia, Neuquén, Argentina. *Revista Geológica de Chile*, 28 (2): 3-22.

Vattuone, M.E., Latorre, C. y Leal, P. (2001b). Barrerita en metavolcanitas de Confluencia, Neuquén, Patagonia Argentina. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 24: 23-32.

Vattuone, M.E., Latorre, C. y Leal, P.R. (2001c). Pectolita en asociación con laumontita y prehnita, en amígdalas de metabasaltos, cerro Chapelco Chico, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56 (2): 240-243.

Vattuone, M.E., Latorre, C. y Leal, P. (2002). Paragénesis de barrerita, offretita, clinozoisita y esmectita en amígdalas de basaltos. Río Arrayanes. Chubut. *6° Congreso de Mineralogía y Metalogenia*: 447-452.

Vattuone, M.E., Latorre, C. y Leal, P. (2005). Polimetamorfismo de muy bajo a bajo grado en rocas volcánicas jurásico-cretácicas al sur de Cholila, Chubut, Patagonia Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23 (2): 315-328

- Vattuone, M.E., Latorre, C. y Leal, P.R. (2006a). Mineralogía y paragénesis de dachiardita cálcica en volcanitas cretácicas ceolitizadas. Esquel, Chubut, Patagonia argentina. *Revista Geológica de Chile*, 33 (1): 161-176.
- Vattuone, M.E., Martínez, C. I., Berbeglia, Y., Gallegos, E. y Crosta, S. (2006b). Chabazite, Ca-K-Na phillipsite, analcime, natrolite: alkaline zeolites filling amygdaloids in tertiary basalts in Patagonia, Argentina, South America. Bowman R.S. and S.E. Delap (Eds.). *Zeolite 2006 – 7th International Conference on the Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites*: 242-243. Socorro, New Mexico.
- Vattuone, M.E., Latorre, C. y Leal, P.R. (2007a). Barrerite twins, Neuquén province, Patagonia, Argentina. *44<sup>th</sup> Annual Meeting of the Clay Mineral Society*, 1: Actas en CD. Santa Fe, EEUU.
- Vattuone, M.E., Crosta, S., Latorre, C., Leal, P.R. y Berbeglia, Y. (2007b). Paulingite from San Martín de los Andes, Patagonia, Argentina. *44<sup>th</sup> Annual Meeting of the Clay Mineral Society*, 1: Actas en CD. Santa Fe, EEUU.
- Vattuone, M.E., Leal P.R., Crosta, S., Berbeglia Y., Gallegos E., Martínez Dopico C. (2008). Paragénesis de zeolitas alcalinas en un afloramiento de basaltos olivínicos amigdaloides de Junín de los Andes, Neuquén, Patagonia, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25 (3): 483-493.
- Vilela, C.R. (1952). Descripción geológica de la Hoja 48c Ensanche Sarmiento. *Dirección Nacional de Geología y Minería. Buenos Aires, Argentina*.
- Villar, L. y Pezzutti, N. (1976). Contribución a la petrología de las rocas alcalinas básicas de la zona de Sarmiento, provincia de Chubut, República Argentina. *I Congreso Geológico Chileno*, 2: 59-72. Santiago, Chile.
- Viviers, M.C. (1970). Rocas Básicas de los Cerros Pastel y Puricelli, Provincia del Chubut, República Argentina y los fenómenos de diferenciación. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 25: 329-346.
- Yussen, J.C. (1935). Resumen de un estudio petrográfico del pozo YPF n°1 de Cacheuta (Mendoza). *Boletín de Informaciones Petroleras*: 43-64.
- Zalba, P., Manassero, M., Iñiguez Rodríguez, M. y Torres Sánchez, R.M. (2000). Smectite-analcime assemblage in flood plains and paleosols of the Angostura Colorada Formation (upper Cretaceous red beds), Gastre, Chubut, Argentina. En: *Natural Zeolites for the Third Millennium*. C. Colella y F.A. Mumpton, eds.: 203-210. Napoles, Italia
- Zalba, P. E., Vaga Sánchez, N, Deya, C. y del AMO, B. (2003). Empleo de zeolitas naturales en pinturas para cielo rasos. *4<sup>o</sup> Conferencia Nacional de Zeolitas y Materiales Microporosos. La Habana, Cuba*.
- Zalba, P., Deyá, C., Vega Sánchez, N. y Del Amo, B. (2009). Zeolitic rocks used as pigment for ceiling paints. Activation of the rock. *Microporous and Mesoporous Materials* 117: 148–152.
- Zalba, P. E., Conconi, M. S., Morosi, M., Manassero, M., y Comerio, M. (2011). Dawsonite in tuffs and litharenites of the Cerro Castano Member, Cerro Barcino Formation, chubut group (Cenomanian), Los Altares, Patagonia, Argentina. *The Canadian Mineralogist*, 49(2): 503-520.
- Zunino J., Maiza P. y Marfil S. (2005). Clinoptilolita en la toba riolítica de la Formación Castillo (Prov. de Chubut). *Geoacta*, 30: 57-61.